

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra telekomunikačnéj techniky

Návrh magnetickej slučkovej antény

Design magnetic loop antenna

2013/2014

Ján Matejčík

Zadání bakalářské práce

Student: **Ján Matejčík**
Studijní program: B2647 Informační a komunikační technologie
Studijní obor: 2601R013 Telekomunikační technika
Téma: **Návrh magnetické smyčkové antény**
Design Magnetic Loop Antenna

Zásady pro vypracování:

1. Proved'te rešerši literatury, týkající se magnetických antén.
2. Navrhněte anténu pro frekvence používané v experimentech prováděných v geologii.
3. Vyřešte připojení antény k vysílači.
4. Realizujete prakticky anténu.
5. Ověřte správnost návrhu měření

Seznam doporučené odborné literatury:

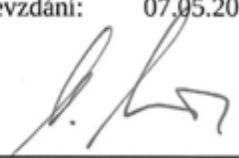
1. Latorilla, E.: Parctical antenna design, Intellin Organization, LLC Technology Publishing Division – USA, 2006, ISBN 1-4196-5170-6
2. Procházka, M.: Antény encyklopedická příručka, 3. rozšířené vydání, BEN, Praha, 2005, ISBN 80-7300-166-7
3. Matuszyk, J.: Antény prakticky, 2. české vydání, BEN, Praha, 2003, ISBN 80-7300-109-8

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Lubomír Ivánek, CSc.**

Datum zadání: 01.09.2013

Datum odevzdání: 07.05.2014


doc. Ing. Miroslav Vozňák, Ph.D.
vedoucí katedry

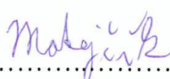



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prehlásenie študenta

Prehlásujem, že som túto bakalársku prácu vypracoval samostatne. Uviedol som všetky literárne pramene a publikácie, z ktorých som čerpal.

Dňa: 23.04.2014


.....
podpis študenta

Pod'akovanie

Rád by som poďakoval doc. Ing. Lubomíru Ivánkovi, CSc. za odbornú pomoc a konzultácie pri vytváraní tejto bakalárskej práce. Ďalej by som chcel poďakovať za tímovú spoluprácu Bc. Petru Vaškovi za realizáciu merania pomocou jeho diplomovej práce: „Vytvoření software pro převedení výsledků měření antén analyzátozem ESPI 7 do počítače“. Za vypožičanie prístrojov a realizáciu merania zisku a PSV by som sa rád poďakoval Ing. Marku Dvorskému, Ph.D. a Ing. Martinu Tomisovi.

Abstrakt

Práca je zameraná na teoretický popis antény a na návrh a realizáciu magnetickej slučkovej antény. Je tu popísané aj o voľbe materiálov pre anténu a spôsob merania. Simulácia navrhutej antény je spomenutá pri použití softvéru MMANA GAL. Meranie PSV, a teda dolad'ovanie antény pomocou anténneho analyzátora a porovnanie so simuláciou.

Kľúčové slová

Magnetická slučková anténa, pomer stojatých vln.

Abstract

The work focuses on the theoretical description of the antenna and the design and implementation of a magnetic loop antenna. There is also described on the choice of materials for the antenna and measurement. Simulation of the proposed antenna is discussed using software MMANA GAL. Measurement of SWR and fine-tuning the antenna with the antenna analyzer and comparison with simulation.

Keywords

Magnetic loop antenna, standing wave ratio.

Zoznam použitých symbolov

Symbol	Jednotky	Význam symbolu
C	F	Kapacita
G	dB	Zisk
I	A	Prúd
L	H	Indukčnosť
P	W	Výkon
R	Ω	Odpor
S	m^2	Plocha
U	V	Napätie
Z	Ω	Impedancia
c	m/s	Rýchlosť svetla
f	Hz	Frekvencia
Ω	-	Štíhlostný koeficient
η	%	Účinnosť
λ	m	Vlnová dĺžka

Zoznam použitých skratiek

Skratka	Anglický význam	Slovensky význam
MLA	Magenic loop antenna	Magnetická slučková anténa
PC	Personal computer	Osobný počítač
PSV	Standing wave ratio	Pomer stojatých vln
S - parametre	Scattering parameters	Rozptylové parametre
VKV	Very high frequency	Veľmi krátke vlny

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Teoretická časť	2
	2.1 Anténa	2
	2.2 Pojmy a vlastnosti antén.....	2
	2.2.1 Izotropický žiarič.....	2
	2.2.2 Smerový žiarič.....	2
	2.2.3 Vstupná impedancia	3
	2.2.4 Polarizačné vlastnosti	3
	2.2.5 Zisk antény	4
	2.2.6 Šírka pásma	4
	2.2.7 Účinnosť vyžarovania antény	5
	2.2.8 Efektívna plocha antény	5
	2.2.9 Vlnová dĺžka λ	6
	2.2.10 Vlastnosti ionosféry a jej vrstvy	7
	2.2.11 Mechanizmus vyžarovania elektromagnetických vĺn.....	8
	2.2.12 Rezonančná frekvencia.....	8
	2.3 Rozdelenie antén	8
	2.3.1 (MLA) Magnetická slučková anténa	9
	2.3.2 Tri základne bloky magnetickej slučkovej antény.....	9
	2.3.3 Parametre magnetickej slučkovej antény (MLA)	13
	2.3.4 Pomer stojatých vĺn	14
	2.3.5 Účinnosť magnetickej slučkovej antény.....	14
	2.4 MLA ako RLC obvod.....	15
	2.5 MLA smerovosť	16
	2.6 Vyžarovací odpor	16
	2.7 Povrchový jav	16
	2.8 Stratový odpor	16
	2.9 Meranie zisku substitučnou metódou	17
	2.10 Meranie zisku recipročnou metódou	17
3	Návrh MLA a konkrétne výpočty.....	18

3.1	Popis výberu materiálu a typu napájacej väzby.....	18
3.2	Návrh a výpočty pre MLA	21
4	Popis merania funkčného modelu antény a vyhodnocovanie výsledkov	25
4.1	Vylad'ovanie antény do rezonancie	25
4.1.1	Vylad'ovanie pomocou prístroja RigExpert.....	25
4.2	Meranie na analyzátore ESPI7 pomocou PSV mostíka.....	29
4.3	Meranie zisku MLA	36
5	Záver.....	38
	Použitá literatúra	39
	Zoznam príloh na CD:.....	XL

1 Úvod

Magnetická slučková anténa MLA je typická svojimi malými rozmermi, nastavovaním rôznych kmitočtov, určitou smerovosťou a odolnosťou voči elektrickému rušeniu. Tento typ antény je vhodne použiť v miestach elektrického rušenia. Konštrukcia je veľmi kompaktná, a preto je dobrá aj ako prenosná anténa. Využitie antény je vhodné v malých obmedzených priestoroch. Realizácia tejto antény a jej vytvorenie, teda aj frekvencia, musí zodpovedať geologickým účelom.

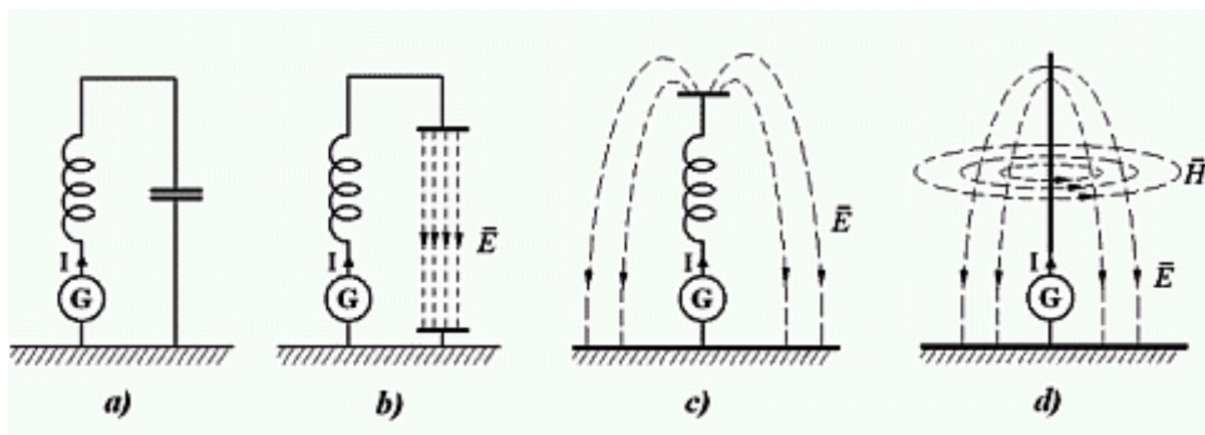
Táto bakalárska práca sa bude venovať teoretickému popisu antény a návrhu konštrukcie funkčného modelu. V teoretickej časti (kapitola č.2) sa spomínajú anténne parametre a poznatky týkajúce sa MLA, ale taktiež tieto hodnoty a pojmy sú využiteľné aj pri iných typoch antén. Sú to parametre ako je napr. zisk, vlnová dĺžka, frekvencia. V neposlednom rade je tu pomer stojatých vĺn (PSV). Je to dôležitý parameter, ktorý chceme pri doladovaní získať. Je to parameter, ktorého hodnota pri dosiahnutí 1 má 100% účinnosť. Ako sa v ďalších častiach dočítate PSV sa v praxi doladuje veľakrát prispôbením určitých častí antény. U mojej MLA je to zmenou dĺžky vodiča väzbovej slučky. V teoretickej časti sa zaoberám aj čisto MLA parametrami. V podstate ide o vzorce pre výpočet jednotlivých prvkov antény. Rozdelenie antén spomínam z dôvodu, aby bolo jasne, kde anténu zaradiť. V základe je to špeciálna smerová anténa s malými rozmermi. Pred návrhom antény bolo dôležité si anténu vymodelovať a teda sa naučiť pracovať s vynikajúcim softvérom MMANA GAL. Bolo to dôležité z pohľadu vyhodnocovania hotového modelu MLA s reálne nameranými hodnotami a so simuláciou v programe. V tomto programe je možné si anténne parametre zvoliť ako napr. frekvenciu 144 MHz, umiestnenie zdroja atď. Po vymodelovaní sa dá zobrazíť vyžarovacia charakteristika, kde môžeme vidieť, že jej diagram nie je kružnica. Keďže nie je kružnicový a intenzita z každého uhla je odlišná znamená to, že sa jedná o smerovú anténu. Vykreslený vyžarovací diagram sa nachádza v CD prílohe. Postupne ako som pracoval v MMANA GAL som zistil, že je tam možnosť využitia pripravených modelov antén.

Kapitola č.3 sa zaoberá postupom voľby materiálu a dĺžkou vodičov. Je tam spomenuté prečo som použil materiál meď, akú dĺžku jednotlivých prvkov, typ konektora a vyriešenie vzduchovej medzery doskového kondenzátora. Posledné časti práce sú zamerané na meranie antény.

2 Teoretická časť

2.1 Anténa

Štandard IEEE Standard Definitions of Terms for Antennas (IEEE Std 145-1973 [11.1], [11.2]) definuje anténu ako zariadenie pre vyžarovanie alebo príjem rádiových vln. Anténa je hlavný článok rádiokomunikačného reťazca. V technickom význame sa jedna o prvok, ktorý umožňuje na vysielacej strane zmenu šírenia harmonickej elektromagnetickej vlny zo šírenia pozdĺž napájača na šírenie v obecnom priestore. Prijímacia časť funguje v opačnom poradí, teda umožňuje na prijímacej časti zmenu vlny v obecnom priestore na šírenie pozdĺž napájača [2]. Anténa predstavuje navonok vodič pripojený ku zdroju striedavého prúdu, ale v skutočnosti je to rezonančný obvod. Takýto obvod je znázornený na (Obrázok 2.0).



Obrázok 2.0 Anténa a jej princíp [5]

2.2 Pojmy a vlastnosti antén

2.2.1 Izotropický žiarič

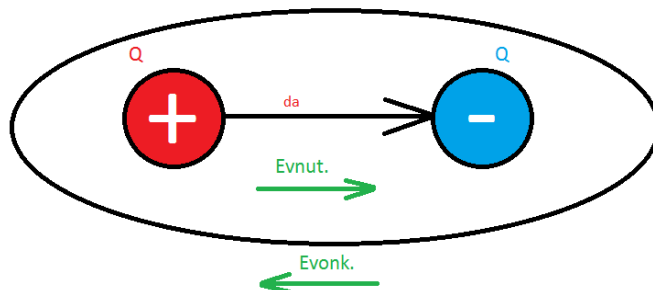
Všesmerová izotropická anténa je v podstate len teoretický pohľad, v ktorom sa hovorí, že vyžarovacie pole nie je závislé od smerovosti. Intenzita vyžarovania je v každom smere zhodná. Vyžarovacia charakteristika by bola guľová plocha.

2.2.2 Smerový žiarič

Smerový žiarič má danú závislosť vyžarovacej charakteristiky na smere, ktorým je vysielanie smerované. Špeciálnym typom je všesmerová anténa, ktorá má smerové vlastnosti iba v jednej rovine (horizontálne alebo vertikálne), v druhej je všesmerová (kruhovú vyžarovacia charakteristika).

Príkladom môže byť elementárne dipól **da**, ktorý je definovaný, ako žiarič tvorený prúdom pretekajúcim medzi dvoma nábojmi odlišnej polarizácie.

Nasledujúci obrázok znázorňuje graficky elementárny dipól a aj náboje, ktorých polarita je odlišná, čiže kladný a záporný náboj.



Obrázok 2.1 Elementárny dipól [2]

2.2.3 Vstupná impedancia

Pri vstupnej impedancii sa jedná o pomer napätia a prúdu na vstupných svorkách antény. Vstupná impedancia má veľký význam pre jej impedančné prispôsobenie k napájaču a pre návrh prispôbovacích obvodov. Rozloženie prúdov na žiariči je závislé takisto na štíhlostnom koeficiente Ω . Pre vodiče s úzkym prierezom platí, že koeficient sa blíži k nekonečnu $\Omega \rightarrow \infty$.

$$\Omega = 2 \ln \left(\frac{2l}{a} \right)$$

kde l je dĺžka ramena dipólu, a je polomer vodiča.

Vstupná impedancia je pomer fázorov vstupného napätia a prúdu,

$$Z_{vst} = \frac{U_{vst}}{I_{vst}} = R_{vst} + jX_{vst}$$

kde R_{vst} je vstupný činný odpor, X_{vst} je vstupná reaktancia,

$$R_{vst} = R_{vyz} + R_{str}$$

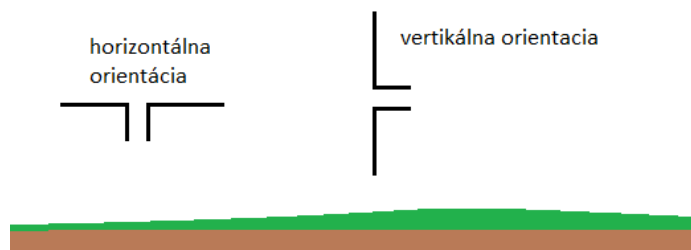
kde R_{str} je stratový odpor, R_{vyz} je vyžarovací odpor antény [2].

Impedancia môže byť kapacitná alebo induktívna. Obsahuje reálne a imaginárne zložky. Zložky sú závislé na veľkosti komponentov antény, frekvencii a vlnovej dĺžke. Impedancia sa v praxi určuje často pomocou merania.

2.2.4 Polarizačné vlastnosti

Anténa má určitú polarizačnú vlastnosť. Táto vlastnosť je chápaná ako polarizácia vyžiarenej vlny. Ak prijímacia a vysielacia anténa nemajú rovnakú polarizáciu, tak vzniká veľký útlm. Polarizovanie je horizontálne alebo vertikálne. Vertikálne antény majú taktiež vertikálne

elektromagnetické pole a to znamená, že elektrická zložka tohto poľa je kolmá na zem a u horizontálnych je to vodorovne.



Obrázok 2.2 Horizontálna a vertikálna orientácia antén v priestore

2.2.5 Zisk antény

Zisk antény charakterizuje účinnosť antény. Je udávaný v decibeloch. Jedná sa o relatívnu hodnotu, ktorá sa vzťahuje k referenčnej anténe. Zisk udáva koľkokrát väčšie napätie dodá na svoje svorky anténa prijímajúca v smere svojho hlavného maxima v porovnaní s referenčnou anténou. Zisk je udávaný ako logaritmus pomeru výkonu alebo napätia [2].

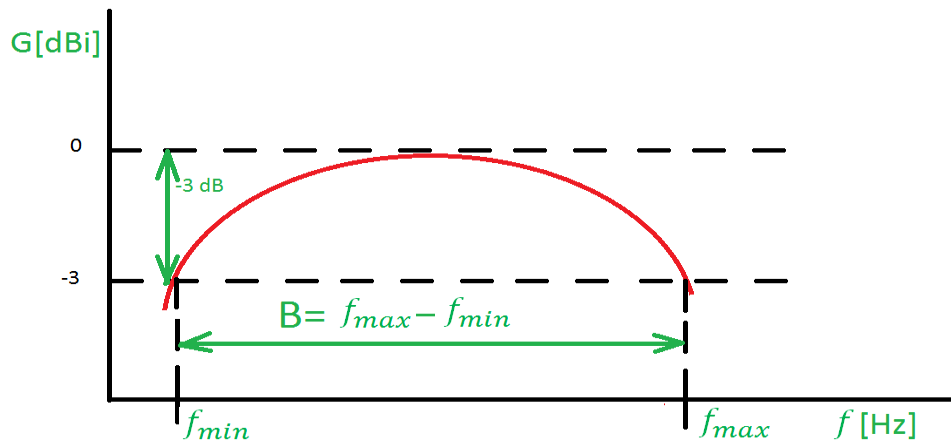
$$G = 20 \log \frac{E_1}{E_0} = 10 \log \frac{P_1}{P_0} \text{ [dB]}$$

Poznáme relatívny zisk a absolútny zisk. Relatívny žiarič je v podstate pol vlnný dipól so ziskom označovaným ako G_r . Zisk sa označuje G z anglického slova Gain a vždy sa vzťahuje k referenčnej anténe. Relatívny žiarič má jednotky dBd. Pri absolútnom sa jedná o izotropný žiarič a jeho zisk býva značený ako G_a a jednotky dBi.

$G_{[dBi]} = G_{[dBd]} + 2,15 \text{ dB}$, kde dBi je hodnota zisku v decibeloch k izotropnej referenčnej anténe, kde dBd je hodnota zisku v decibeloch vzhľadom k polovlnovému referenčnému dipólu.

2.2.6 Šírka pásma

Je to frekvenčný rozsah, pri ktorom sa anténa správa štandardne. Šírka pásma je rozdiel dvoch veličín a to medzi maximálnou a minimálnou frekvenciou antény. Jednotky sa udávajú v Hz. Na obrázku nižšie je znázornený tento princíp graficky. Písmeno B, pre šírku pásma, je z anglického slova bandwidth.



Obrázok 2.3 Šírka pásma

2.2.7 Účinnosť vyžarovania antény

Je to pomer celkovo anténou vyžiareného výkonu P_r k výkonu dodaného na vstup antény z prijímaného zdroja P_d .

$$\eta = \frac{P_z}{P_d}$$

Pre prijímaciu anténu je účinnosť príjmu daná účinnou plochou antény [3].

Účinnosť antény ja väčšia pri zvyšovaní hodnoty vyžarovacieho odporu a tým pádom stratový odpor musí byť menší.

2.2.8 Efektívna plocha antény

Pomer výkonu P_z na zaťažovacej impedancii antény Z_z ,

$$P_z = \frac{I_{ef}^2 Z_z}{2}$$

k výkonovej hustote energie (Poytingov vektor) P_v [W/m^2] označujeme ako absorpcia A_e ,

$$A_e = \frac{P_z^2}{P_v} [m^2: W, W/m^2]$$

Podmienkou tejto definície sú maximálne príjmové podmienky tj. orientácia antény na maximálny príjem a polarizačné prispôsobenie. Ak sú splnené aj podmienky maximálneho prenosu výkonu medzi anténou a záťažou, tj. odpor žiarenia antény R_{vyz} , sa rovná reálnej zložke zaťažovacej impedancie antény a reaktančná zložka impedancie antény a záťaže sa kompenzuje. Ak bude prenos energie bezstratový, bude výkon absorbovaný v záťaži,

$$P_z = \frac{U_{ef}^2}{8R_{vyz}}$$

kde U_{ef} je napätie na záťaži.

Maximálna plocha absorpcie teda bude:

$$A_{em} = \frac{P'_z}{P_v}$$

Ak vyjadrujeme maximálnu plochu absorpcie pomocou smerovosti antény S , tak bude,

$$A_{em} = \frac{S\lambda^2}{4\pi}$$

kde za S môžeme dosadiť smerovosť absolútnu S_i (voči izotropickému žiariču) alebo smerovosť relatívnu S_d (voči polovlnovému dipólu). Pretože smerovosť izotropnej antény je $S_i = 1$, tak preto bude plocha absorpcie izotropickej antény:

$$A_i = \frac{\lambda^2}{4\pi}, \text{ krátkeho dipólu}$$

$$A_{em} = \frac{3}{2A_i}, \text{ polovlnového dipólu}$$

$$A_{em} = 1,64A_i \cong 0,13\lambda^2 [3].$$

2.2.9 Vlnová dĺžka λ

Je dĺžka medzi dvoma bodmi v určitom priestore. V tomto priestore je fázovo rovnaké elektromagnetické pole. Vlnová dĺžka je v podstate priama úmerna c a T , kde c je rýchlosť šírenia vlny a T je perióda prúdu. Pre každé vlnové dĺžky je vždy typická aj frekvencia. Pri riešení mojej práce používam VKV vlny a to konkrétne 144 MHz, čo sú takzvané 2 metrové vlny. Jednotlivé rozsahy je dobre vidieť v tabuľke (Tabuľka.1)

Vzťah pre vlnovú dĺžku je nasledujúci:

$$\lambda = cT = \frac{c}{f}$$

Skratka	Slovenský názov	Rozsah frekvencií	Dĺžka vlny
ELF	Extrémne dlhé vlny	3 mHz - 3 kHz	1000 – 100 km
VLF	Veľmi dlhé vlny	3 kHz – 30 kHz	100 – 10 km
LF	Dlhé vlny	30 kHz – 300 kHz	10 – 1 km
MF	Stredné vlny	300 kHz – 3 MHz	1 – 0,1 km
HF	Krátke vlny	3 MHz – 30 MHz	100 - 10 m
VHF	Veľmi krátke vlny	30 MHz – 300 MHz	10 – 1 m
UHF	Ultra krátke vlny	300 MHz – 3 GHz	100 – 10 cm
SHF	Super krátke vlny	3 GHz – 30 GHz	10 – 1 cm
EHF	Extrémne krátke vlny	30 GHz - 300 GHz	10 – 1 mm

Tabuľka.1: Rozdelenie podľa vlnovej dĺžky

2.2.10 Vlastnosti ionosféry a jej vrstvy

Pôsobením kozmického a slnečného žiarenia býva narušená elektrická neutralita zemskej atmosféry a pritom vzniká ionizácia a tým sa zmení aj množstvo elektrónov v atmosfére. Časť, v ktorej došlo k ionizácii sa nazýva ionosféra. Ionosféra je vo výške desiatok metrov až do cca 600 km nad povrchom. Ionosféra sa člení do viacerých vrstiev. Každá táto vrstva má označenie F₂, F₁, E, D. Najvyššia vrstva F₂ má najnižšiu permitivitu a najväčší počet ionizovaných častíc v cm³. Reálne je aj najvyššia frekvencia, pri ktorej sa ešte odráža elektromagnetická vlna vstupujúca kolmo od ionosféry. Závislosť medzi kritickou frekvenciou a koncentráciou elektrónov v ionosfére je v takomto prípade daná vzťahom:

$$f_k = \sqrt{80,8N}$$

kde: N- počet elektrónov na cm³ v mieste maximálnej ionizácie [-]

Elektromagnetické vlny s frekvenciami nad 20 000 kHz sa od ionosféry už neodrážajú, takže sa môžu šíriť len na priamu viditeľnosť.

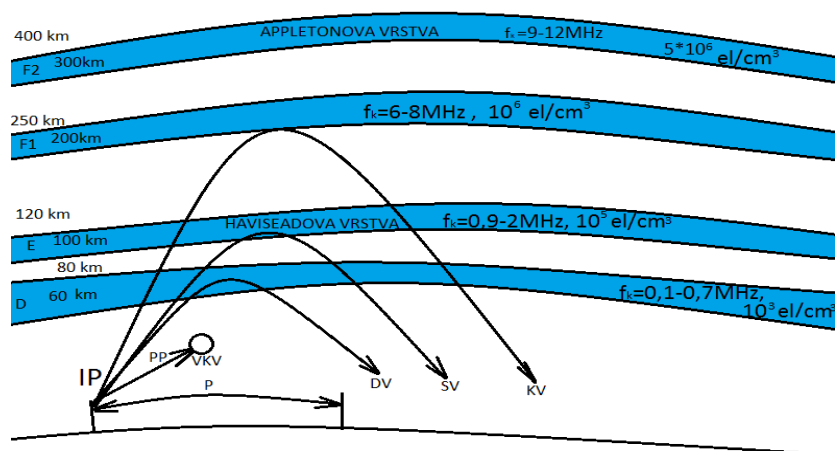
Elektromagnetické vlny sa šíria :

- dlhé vlny DV** sa šíria hlavne povrchovou vlnou zásluhou ohybu na krivostiach zemského povrchu

- stredné vlny SV** sa odrážajú od vrstvy E

- krátke vlny KV** sa takmer bez tlmenia odrážajú od ionosféry

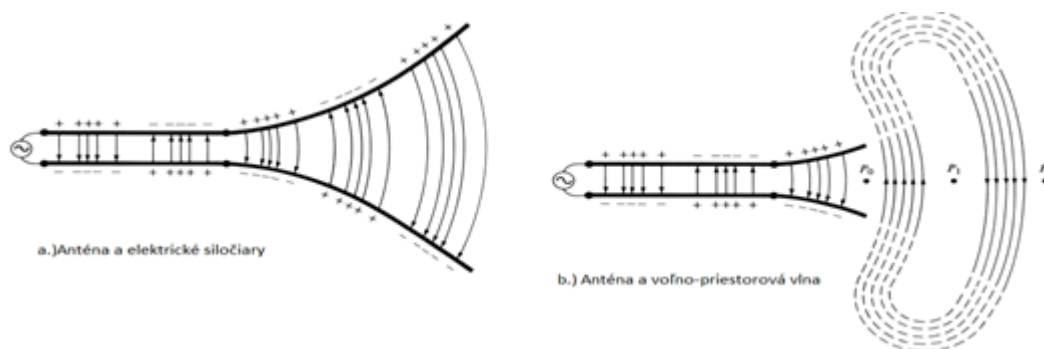
- veľmi krátke vlny VKV** sa šíria iba priamou priestorovou vlnou, pretože odraz od ionosféry nie je možný, keďže prenikajú ionosférou. Je tu potrebná priama viditeľnosť medzi vysielačom a prijímačom.



Obrázok 2.4 Vrstvy ionosféry a ich vlastnosti.
P - povrchová, PP - priama priestorová, IP - ionosférická priestorová [5]

2.2.11 Mechanizmus vyžarovania elektromagnetických vĺn

V princípe máme vysielateľ (zdroj napätia), ktorý vytvára medzi dvoma vodičmi magnetické a elektrické pole. Pohyb elektrónov vo vodiči vyvoláva prúdy tečúce po prvkoch antény a v priestore sa vytvára magnetické pole. Veľké množstvo siločiar postupujúcich od zdroja do priestoru tvoria vyžarovacie pole. Hneď, ako je vlna vyžiarená tak siločiar tvoria uzavretú slučku bez nábojov, ktoré boli potrebné pre prenos na napájači [4].



Obrázok 2.5 Zdroj, prenosové vedenie, anténa, oddelenie elektrických siločiar

2.2.12 Rezonančná frekvencia

Pri ladení antény chceme, aby bola dosiahnutá rezonancia antény na požadovanom kmitočte. Takáto rezonančná anténa je paralelný rezonančný obvod, ktorý je zložený z indukčnosti žiariča a z kapacity medzi zemským povrchom a žiaričom. Preto sa anténa vyladzuje do rezonancie na frekvencii, ktorá bude pracovnou frekvenciou. Pri rezonancii je reaktančná hodnota vždy nulová. Takto vyladená anténa čerpá energiu zo zdroja a vyžaruje ju do priestoru.

2.3 Rozdelenie antén

Antény môžeme rozdeliť podľa :

- **tvaru žiariča**
 - líniové
 - slučkové
 - apertúrove (lievikové, reflektorové)
 - dielektrické
 - špirálové
- **šírky pracovného pásma**
 - širokopásmová
 - úzkopásmová
- **tvaru vyžarovacej charakteristiky**
 - všesmerové
 - smerové

-
- **polarizácie**
 - horizontálne
 - vertikálne
 - eliptické
 - kruhové
 - **rozloženia vlny na anténe**
 - so stojatou (rezonančná)
 - s postupnou
 - **vzájomného usporiadania žiaričov**
 - jednoduchý žiarič
 - rady žiaričov
 - sústavový rad
 - kolineárne antény
 - logaritmicko - periodické antény

2.3.1 (MLA) Magnetická slučková anténa

Z rozdelenia 2.3 sa konkrétne budem venovať iba slučkovej anténe. Elementárny dipól ako základný typ antény nie je v určitých prípadoch vždy realizovateľným riešením, najmä pri frekvenciách, kedy je rozmer antény niekoľkonásobne menší ako je vlnová dĺžka pracovnej frekvencie antény. Efektívnym riešením môže byť MLA (magnetic loop antenna). V dostupných literatúrach sa píše o tejto anténe ako o mobilnej anténe vďaka malým rozmerom. Z konštrukčného hľadiska je veľa možností aký tvar môže mať táto anténa. Najčastejšie používané sú štvorcové, kosoštvorcové a kružnicové tvary. Z pohľadu teórie aj praxe, pri rovnakej dĺžke vodiča v konštrukcii, je pri každom tvare rozdielny obsah hlavnej slučky (efektívna plocha). Pri kruhu je to vždy najväčšia hodnota, čo je výhoda. Problém môže byť iba s vytvarovaním dokonalého kružnicového tvaru. Tento typ antény sa skladá z hlavnej slučky a väzbovej slučky. Väzbové slučky sú realizovateľné viacerými spôsobmi. Jedným zo spôsobov môže byť použitie T-bočníka alebo pomocou toroidového prúdového transformátora. MLA je v porovnaní s klasickou rámovou anténou, dipólom, smerovou anténou hlavne rozmerovo efektívna z pohľadu vlnovej dĺžky, preto že sa pri MLA používa $0,1\lambda$. Výnimočnosť MLA spočíva aj v schopnosti generovať a spracovávať iba magnetickú zložku H elektromagnetického poľa. Vďaka tejto vlastnosti je MLA odolná voči akémukoľvek elektrickému rušeniu. MLA sa môže použiť aj ako sonda pre meranie v teréne alebo aj ako smerová anténa pre rádiovú navigáciu.

2.3.2 Tri základne bloky magnetickej slučkovej antény

- Hlavná slučka
- Väzbová slučka
- Laditeľný kondenzátor



Obrázok 2.6 MLA konštrukcia

Hlavná slučka :

Dĺžka hlavnej slučky býva odvodená od vlnovej dĺžky λ ($0.1-0.2\lambda$), pre ktorú anténu MLA navrhujeme. Hlavná slučka môže byť vytvorená z kovového materiálu ako je napríklad meď. V mojom prípade som zvolil medenú rúrku, ale môžeme použiť taktiež koaxiálny kábel. Hlavnú slučku môže tvoriť niekoľko závitov, čo je dobrá vlastnosť pre nízke frekvencie. Výhoda je, že nemusíme konštruovať rozmernú anténu, lebo pomocou závitov jej veľkosť zredukujeme. Pri viac závitovom riešení sa vypočíta vždy indukčnosť jednej slučky a potom sa to vynásobí počtom závitov. Indukčnosť takéhoto závitov vypočítame nasledovným vzťahom:

$$L = 0,2 * U \left(\ln \frac{U}{d} - 1,07 \right) [\mu H]$$

L- je indukčnosť slučky [μH]

U- je obvod hlavnej slučky [m]

d- je priemer vodiča hlavnej slučky [m]

Ak navrhujeme MLA pre pásma s veľkou vlnovou dĺžkou (napr. dlhé alebo stredné vlny), je odporúčané použiť viac ako jeden závit hlavnej slučky, inak budú rozmery MLA veľké. Počet závitov slučky sa riadi rozmerom slučky, navrhnutou frekvenciou a hodnotou ladiaceho kondenzátora, nesmie zmeniť charakter MLA na rámovú anténu - stále musí platiť $U = 0,1 \div 0,2 \lambda$. Indukčnosť potom rastie s kvadrantom závitov.

$$L' = LN^2 [\mu H]$$

L'- je indukčnosť viac závitovej slučky [μH]

L- je indukčnosť jedného závitov [μH]

Ladiaci kondenzátor:

Pre zmenu frekvencie sa pri MLA veľmi často používa ladiaci doskový kondenzátor. V princípe ide o zmenu vzduchovej medzery. Na frekvenciu to vplýva tak, že pri pootáčaní dosiek

kondenzátora sa buď znižuje alebo zvyšuje vzduchová medzera. Pokiaľ sa medzera zväčší, frekvencia stúpne. Kondenzátor môže byť vytvorený ako dve voči sebe vodorovné kovové dosky a medzi nimi bude dielektrikum. Dielektrikum môže byť vzduch, ktorého relatívna permitivita má hodnotu 1,006 a pri vákuu je to 1,000. Zo vzťahu pre vzduchový kondenzátor si môžeme taktiež vyjadriť jednotlivé neznáme. V mojom prípade tento vzťah použijem na výpočet vzduchovej medzery. Preto takýto jednoduchý kondenzátor si môžeme zhotoviť a vypočítať podľa vzťahov:

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r S}{d} [F]$$

ϵ_0 - je permitivita vákuu [-], S - plocha v $[m^2]$, d - je vzdialenosť dosiek $[m]$,

ϵ_r - je relatívna permitivita [-]

$$C = \frac{1}{(2\pi f)^2 L} [F]$$

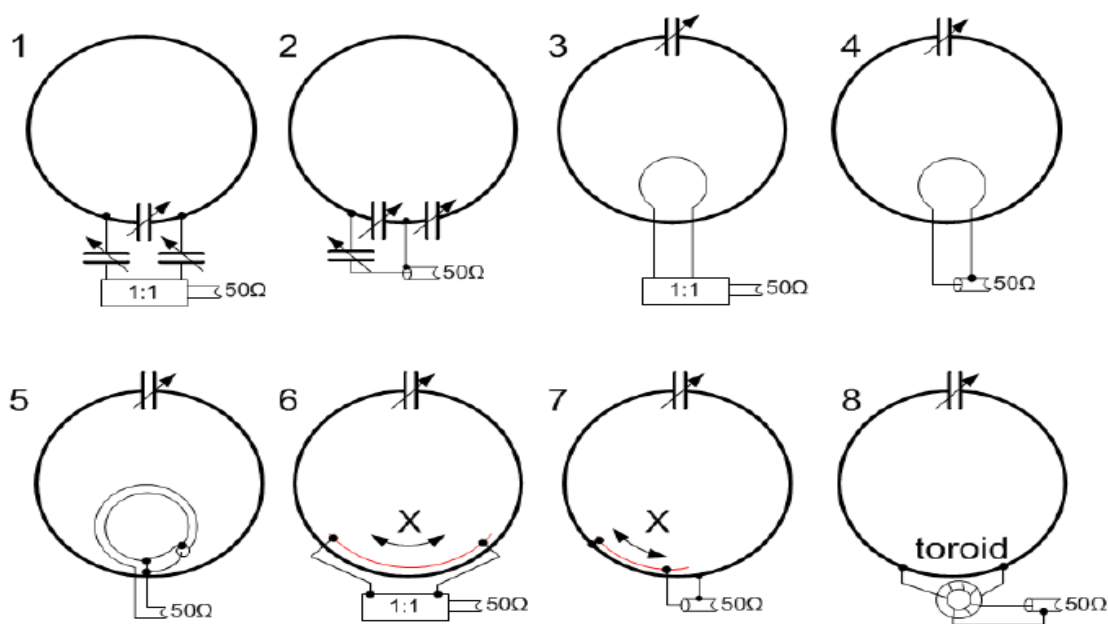
C - je kapacita ladiaceho kondenzátora $[F]$

f - je pracovná frekvencia $[Hz]$

L - je indukčnosť slučky $[\mu H]$

Väzbová slučka:

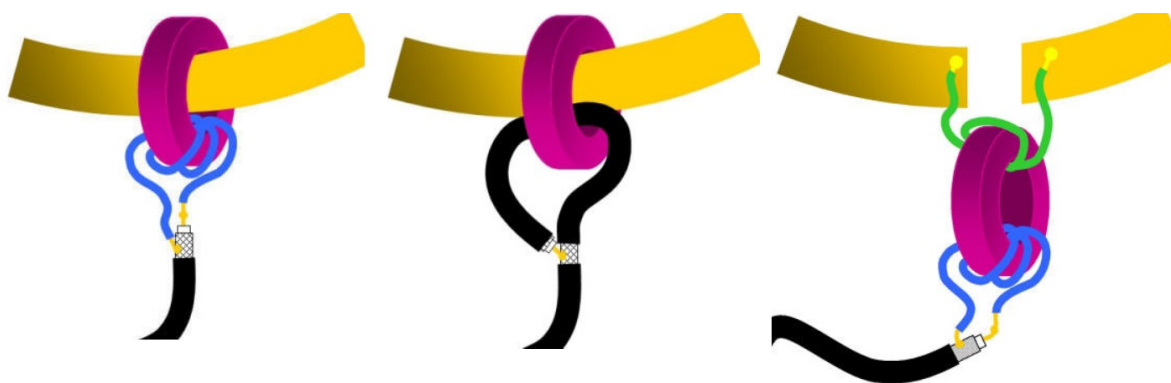
Napájanie antény sa realizuje pomocou väzbovej slučky. Táto slučka býva väčšinou umiestnená vnútri hlavnej slučky a je to 1/5 až 2/5 priemeru hlavnej slučky. Doporučená vzdialenosť od hlavnej slučky je 0-5 cm. Väzbová slučka býva umiestnená väčšinou oproti ladiacemu kondenzátoru.



Obrázok 2.7 Typy slučiek [1]

Nepopisujem všetkých osem možností z obrázka (Obrázok 2.7), kde sú nakreslené typy slučiek, ale vyberiem si len niektoré z riešení a priblížim ich.

Ako jedna z možností väzbových slučiek je použitie feritového jadra, kde je navinutý drôt. Je to budenie pomocou toroidného prúdového transformátora. Výhodou tohto riešenia je širokopásmovosť budiaceho obvodu. Vlastný anténny závit prechádza toroidom s budiacim závitom, ktorý je pripojený k napájaču. V podstate toto riešenie má dva základné parametre a to typ feritového materiálu a počet sekundárnych vinutí. Feritové jadro musí mať dostatočný priemer, aby vošiel na rúrku hlavnej slučky. Vinutie na jadre musí byť rovnomerne navinuté, aby nevznikala zbytočne vysoká parazitná kapacita. Tento typ napájania má viacero variant a jednou z nich môže byť pripojenie primárneho vinutia na koaxiálny kábel a druhé vinutie, teda sekundárne vinutie, bude pripojené v mieste rozdelenia hlavnej slučky. Nasledovný obrázok znázorňuje použiteľné varianty [13].

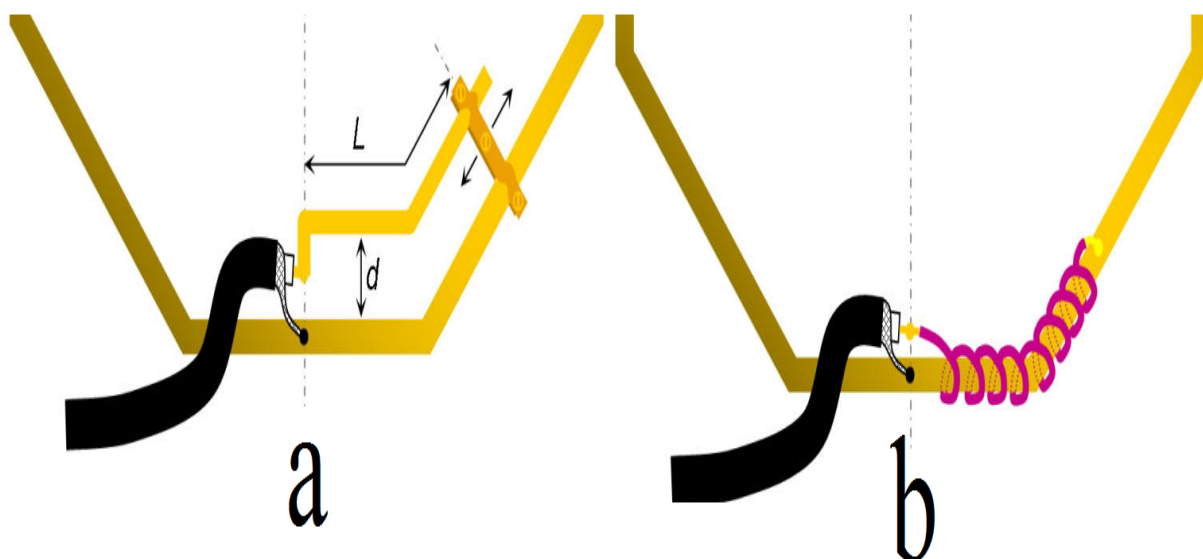


Obrázok 2.8 Toroidové väzbové slučky [13]

Ďalšou variantou je väzbová slučka s induktívnym charakterom. Je to riešenie, pre ktoré som sa vo svojej práci rozhodol. Je to slučka, ktorá býva umiestnená taktiež oproti kondenzátora a jej tvar je závislý na hlavnej slučke (kružnica, štvorec, šesťuholník). Slučka nemá žiadne fyzické prepojenie s hlavnou slučkou. Využíva sa tu pevný plný drôt, ktorý sa dá vytvarovať do potrebného tvaru a dokáže v tomto tvare ostať a nedeformovať sa. Zvyčajne sa používa 1/5 z priemeru hlavnej slučky, avšak to môže byť aj iný rozmer podľa potreby pri vyladovaní do rezonancie. Zapojenie je jednoduché, konce sú pripojené ku koaxiálnemu káblu. Stredový vodič koaxiálneho kábla je pripojený na jeden koniec a odtienená časť kábla k druhej časti slučky.

Posledným riešením, ktoré by som chcel spomenúť je tzv. „Gamma Match“ alebo gama pahýľ. Je to T- bočník. V princípe ide o pripojenie tienenia koaxiálneho kábla na stred hlavnej slučky oproti kondenzátora. Centrálny vodič sa pripája prichytením pomocou skratovanej spojky. Oproti predchádzajúcej variante je fyzicky spojený s hlavnou slučkou.

Ďalším podobným riešením ako T-bočník je „Beta Match“, kde je centrálny vodič pripojený na vodič obvinutý okolo hlavnej slučky. Je to možné vidieť na (Obrázok 2.9).



Obrázok 2.9 a.) T-bočník („Gamma Match“), b.) Beta Match

2.3.3 Parametre magnetickej slučkovej antény (MLA)

Parametre popisujúce MLA [1]:

$$\text{Napätie na kondenzátore } U_c = \sqrt{P_{RF} * X_L * Q} \text{ [V]}$$

$$\text{Vyžarovací odpor } R_{vyz} = N^2 * 3.38 * 10^{-8} (f_0^2 * 10,76 * A)^2 \text{ [}\Omega\text{]}$$

$$\text{Plocha kruhovej slučky } S = \frac{\pi}{4} D^2 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$\text{Stratový odpor } R_L = 9.96 * 10^{-4} \sqrt{f} * \frac{O}{D} \text{ [}\Omega\text{]}$$

$$\text{Účinnosť } \eta = \frac{R_{vyz}}{R_{vyz} + R_L} * 100[\%]$$

$$\text{Činiteľ kvality } Q = \frac{X_L}{2(R_{vyz} + R_L)} \equiv \frac{f_0}{\Delta f} \equiv \frac{f_0}{B}$$

$$\text{Smerová funkcia } F = \sin^2 \theta$$

$$\text{Reaktancia hlavnej slučky } X_L = 2\pi * f * L \text{ [}\Omega\text{]}$$

$$\text{Indukčnosť hlavnej slučky } L = 0.2 * O * N^2 * (\ln \frac{O}{d} - 1.07)$$

Kde: O je obvod hlavnej slučky [m], d je priemer vodiča [m], N je počet závitov,

D je priemer hlavnej slučky [m], f_0 je pracovná frekvencia MLA [Hz],

B, Δf je šírka pásma antény [Hz]; θ je uhol vyžarovania v rovine xy

2.3.4 Pomer stojatých vln

Veľmi často používaná skratka PSV. Je to hodnota, ktorá nám ovplyvňuje účinnosť vysielacieho zariadenia. Pri PSV ide o všetky časti ako je vysielač, kábel atď., ktoré musia byť k sebe impedančne prispôsobené tak, aby na určitej frekvencii bola hodnota impedancií rovnaká na každej anténnej časti. Pri najlepšom prispôsobení sa dostávame na hodnotu $PSV = 1$.

V praxi sa takáto hodnota väčšinou nedosiahne. Pri vylad'ovaní antén sa k tejto hodnote dostávame pomocou upravovania dĺžok vodiča väzbovej slučky. Príkladom je MLA. Akceptovateľné hodnoty sú od 1 do 1,5. Prekročením hodnoty 3 je vyžarovací výkon antény už iba 75%. Pomer stojatých vln meriame pomocou PSV metra. Tieto meracie prístroje bývajú riešené analógovo, ale v súčasnosti sa používajú už digitálne merače, kde je aj možnosť prepojenia s počítačom cez USB rozhranie. Pomocou priložených softvérov monitorujeme parametre aj na PC a jednotlivé hodnoty a grafické výsledky je možné ukladať do potrebného formátu. Tieto meracie prístroje bývajú tiež univerzálnejšie riešené, sú to skôr anténne analyzátory, ktoré dokážu merať viac ako len PSV.



Obrázok 2.10 Anténny analyzátor s možnosťou merania PSV vľavo, PSV meter vpravo

2.3.5 Účinnosť magnetickej slučkovej antény

Ďalším z dôležitých parametrov MLA, ale aj ostatných typoch antén je účinnosť antény. Tento parameter je percentuálne vyjadrenie hodnoty, ktorú anténa vyžaruje. Vo vyjadrenom vzťahu je to podiel vyžiarenej a stratovej energie.

$$\eta = \frac{N_{vyz}}{N_{str}} * 100 [\%]$$

N_{vyz} sa dá ľahko rozpísať do vzťahu prúdu na slučke vynásobeného vyžarovacím odporom $N_{vyz} = I_0^2 * R_{vyž}$.

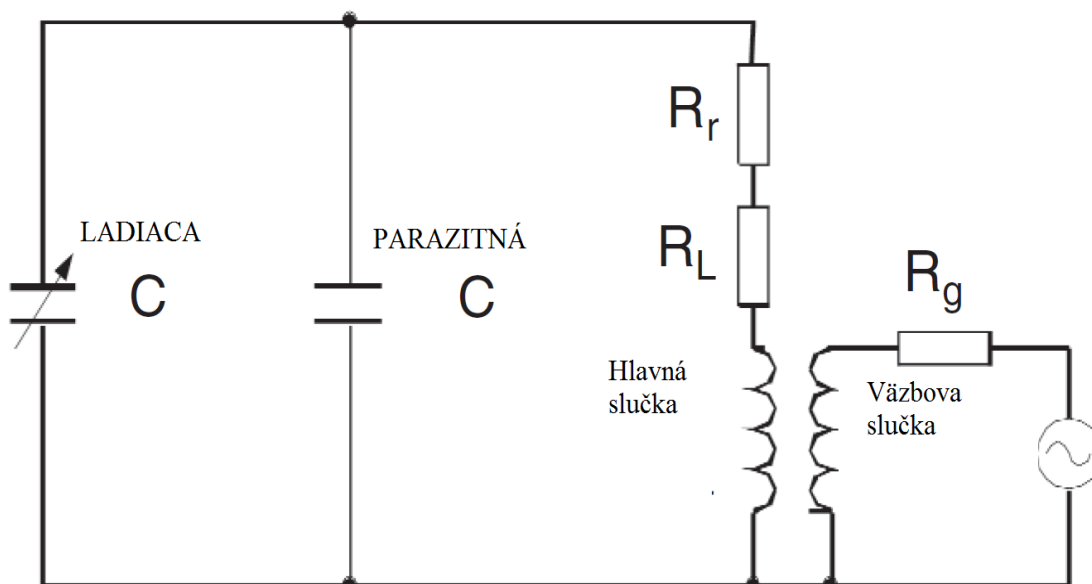
N_{str} zasa obsahuje vyžiarenú energiu a stratovú energiu. Anténna účinnosť sa dá aj rozpísať do nasledovného vzťahu podľa článku [1].

$$\eta = \frac{R_{vyz}}{R_{vyz} + R_{str}} * 100 [\%]$$

2.4 MLA ako RLC obvod

Táto anténa je v podstate paralelný RLC obvod. Hlavná slučka obsahuje vyžarovací, stratový odpor a indukčnosť. Ladiaci kondenzátor má zvyčajne kapacitu niekoľko malo pF, ale napätie býva závislé od výkonu, takže môže vzniknúť napätie až niekoľko kV. Pri takomto obvode vznikajú prechodové javy sprevádzané cirkulačnými prúdmi. Paralelný vyladený obvod získame privedením napätia na kondenzátor, ktorý je paralelne spojený s cievkou. Pri tomto zapojení dochádza k rezonancii za podmienok vychádzajúcich zo vzťahu podľa Thomsona [10].

Rezonancia nastáva ak je oneskorený a predbiehajúci prúd rovnaký. Oneskorený prúd je odoberaný indukčnou vetvou a predbiehajúci zasa kapacitnou. Tieto prúdy sú rovnaké, ale sú fázovo posunuté o 180° . Z toho vyplýva, že výsledný prúd je malý a je vo fáze s napätím. Ak by sme tieto prúdy znázornili šípkami, tak by mali každý opačnú orientáciu. Pri magnetickej slučkovej anténe je cirkulačný obvod viac namáhaný, pretože dosahuje vysoké prúdy a napätie na kondenzátore. Pri rezonancii je dôležitý činiteľ kvality, ktorý určuje násobok toho, koľkokrát je väčšie napätie na reaktanciach X_L a X_C . Na obrázku je schematicky znázornená anténa.



Obrázok 2.11 Ekvivalentný obvod MLA

2.5 MLA smerovosť

Smerovosť, ako parameter vysielacej antény, vyjadruje schopnosť antény sústrediť vyžarovanie do určitého smeru. Smerovosť v danom smere je určená pomerom hustoty výkonu v bode pozorovania ležiacom v zóne žiarenia od skúmanej antény P_s k hustote výkonu v tom istom bode pozorovania od referenčnej antény P_{ref} za predpokladu, že vyžiarené výkony od oboch antén sú rovnaké a antény sú umiestnené v tom istom mieste. Smerovosť MLA je ľahko určiť z vyžarovacej charakteristiky pomocou simulačných programov, kde môžeme vidieť akou intenzitou vyžaruje do priestoru, a v ktorom mieste je intenzita najsilnejšia. Vyžarovacia charakteristika je v tvare čísla osem. Pri reálnom použití sa anténa musí nasmerovať na prijímač smerom, kde jej intenzita je najväčšia. Výstupy z programu MMANA GAL sa nachádzajú v prílohách a súbor na otvorenie je na priloženom médiu. Je možné si tak zobrazit' vertikálne a horizontálne vykreslenia a 3D model vyžarovania. V tomto programe sa dá anténa modelovať na presne rozmery vodičov. Optimalizovať anténu sa dá pomocou upravovania predvolených nastavení.

2.6 Vyžarovací odpor

Je to odpor, do ktorého privádzame všetku dodanú energiu a vyžarujeme ju do priestoru. Má vplyv na účinnosť antény. Ak by neboli žiadne straty okrem tohto odporu, tak by sme dostali účinnosť antény 100 %. Na MLA takúto účinnosť nedosahujeme, pretože straty na hlavnej slučke a na všetkých častiach antény nato vplývajú. Pri stavbe antény chceme, aby mala najlepšiu účinnosť a tak preto dbáme na vysokú hodnotu vyžarovacieho odporu. Pre dosiahnutie takýchto hodnôt sa anténa umiestňuje do väčšej výšky nad zemský povrch.

2.7 Povrchový jav

Je nazývaný skin efekt a ide o fyzikálny dej, kde je elektrický prúd potlačovaný k povrchu vodiča. Keď striedavý prúd preteká vodičom, jeho magnetické pole indukuje vírivé prúdy vo vodiči, ktorý čelí toku primárneho prúdu. Pri zvyšovaní frekvencie má prúd tendenciu sa tlačiť k povrchu vodiča takže frekvencie okolo 10 MHz a viac spôsobujú to, že koncentrácia prúdov je už len v tenkej povrchovej vrstve vodiča. Pri tom nám vzrastá aj efektívny odpor a objavuje sa vnútorná reaktancia, pretože sa zmenila fáza celkového prúdu.

2.8 Stratový odpor

Straty na výkone antény spôsobené stratovým odporom sú ovplyvnené troma hlavnými odporovými parametrami a to je R_V , R_z , R_d . Je to odpor vodičov, zeme a dielektrík. Z týchto troch veličín sa dá jednoducho obmedziť hodnota dielektrika a to dobrou voľbou izolačného materiálu. Stratový odpor vodičov sa nedá obmedziť. Tento odpor je ešte zvyšovaný aj povrchovým javom.

2.9 Meranie zisku substitučnou metódou

Pre túto metódu merania platí zákon reciprocity. Zjednodušene to znamená, že je úplné jedno či je anténa v pozícii vysielateľa alebo v pozícii prijímateľa. Meranie sa uskutočňuje tak, že sa anténa zoberie do meracieho prostredia aj so stojanom určeným pre anténu. Meracie prostredie sa vystavuje rovinnej elektromagnetickej vlne, ktorej polarizácia musí byť rovnaká ako na meranej anténe. Výstupný výkon žiariča sa dostáva do určenej záťaže podľa, ktorej sa potom porovná s výkonom referenčnej antény. Anténa použitá pre referenčný účel s garantovaným ziskom sa postaví na miesto, kde bola umiestnená meraná anténa. U tejto antény okrem zisku musíme poznať smerovosť, polarizáciu a charakteristiku vyžarovania. Pri takomto meraní sa odporúča používať rovnaké typy antén meranej a referenčnej. Vo výsledku sa udáva rozdiel medzi referenčnou anténou a meranou anténou [15].

2.10 Meranie zisku recipročnou metódou

Základom tohto merania sú dve antény rovnaké konštrukčne a vlastnosťami. Vždy jedna z týchto antén je v roli vysielateľa a druhá v roli prijímateľa. Každá anténa je umiestnená na teleskopický stožiar spolu s upevňovacou konštrukciou. Obe antény sú na seba zamerané maximálnou intenzitou vyžarovania podľa smerového diagramu. Antény sa umiestňujú nad zemou. Minimálna výška sa v literatúre spomína najmenej dvojnásobok vlnovej dĺžky. Vzájomná vzdialenosť antén R je daná minimálne trojnásobkom vlnovej dĺžky. Odraz od zeme korigujeme zmenou výšky antény z minimálne 2λ a zaznamenávame si zmeny na prijímači. Zmeny nesmú prekročiť $\pm 0,5$ dB. Za týchto podmienok zanedbateľného vplyvu odrazu zeme je útlm medzi anténami daný vzťahom [15]:

$$A_s = \left[20 * \log \left(4 * \pi * \frac{R}{\lambda} \right) - 2 * G_i \right] [\text{dB}]$$

kde: A_s je nameraný útlm v dB, G_i je zisk voči izotropnému žiariču v dB, R je vzdialenosť medzi fázovými stredmi antén,

Zisk antény voči izotropnému žiariču je daný:

$$G_i = \left[10 * \log \left(4 * \pi * \frac{R}{\lambda} \right) - \frac{A_s}{2} \right] [\text{dBi}]$$

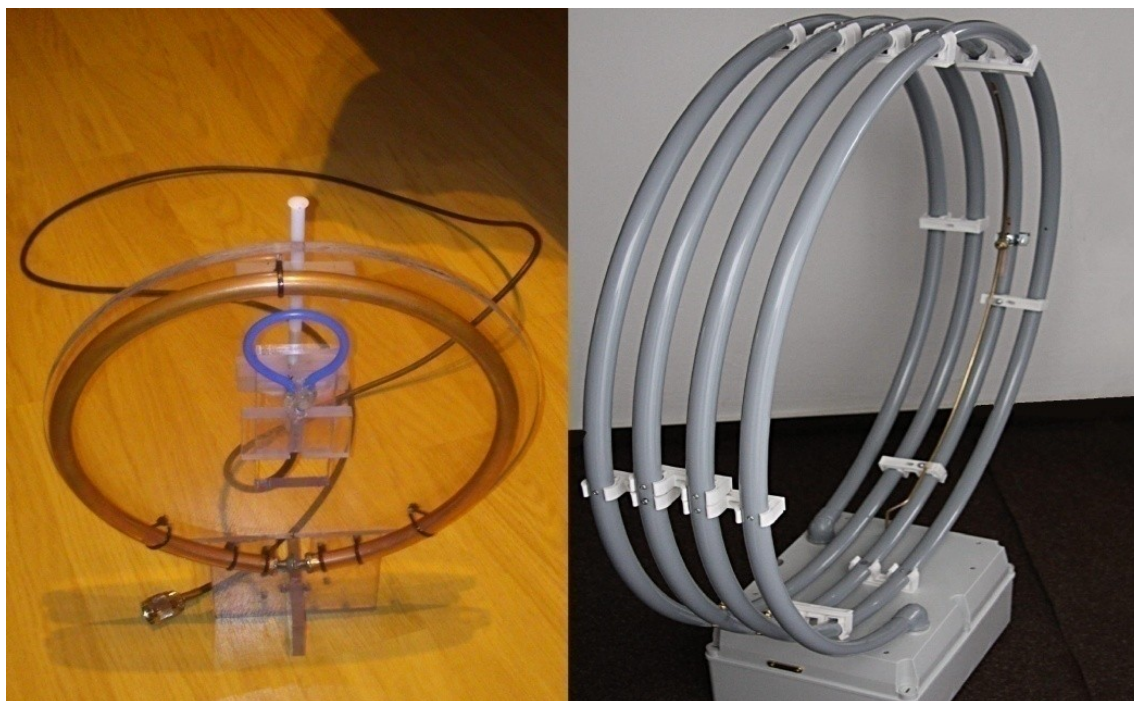
Voči polovlnovému dipólu:

$$G_i = \left[10 * \log \left(4 * \pi * \frac{R}{\lambda} \right) - \frac{A_s}{2} - 2,15 \right] [\text{dBd}]$$

3 Návrh MLA a konkrétne výpočty

3.1 Popis výberu materiálu a typu napájacej väzby

Pre zvolenie materiálu hlavnej slučky sa najčastejšie v konštrukčných riešeniach používa medená rúrka. Uprednostňuje sa pred plným valcovým materiálom z ekonomického hľadiska a kvôli skin efektu, pri ktorom nám prúd tečie povrchom rúrky. Tento typ materiálu má aj určité zápory a jedným z nich je, že nemá tienenie. Keďže nemá tienenie, nedokáže potlačiť zložku elektrického poľa. Ja túto anténu konštruujem z pohľadu vysielateľa, takže táto vlastnosť nehrá v tomto prípade hlavnú úlohu. V prípade, že by som chcel potlačiť elektrickú zložku použil by som koaxiálny kábel, ktorý má tienenie. Toto tienenie sa musí prerušiť v polovici kružnice. Z hľadiska konštrukcie sa dá aj uvažovať nad počtom závitov MLA, aby sa zmenšila rozmernosť antény. Pre moju anténu som zvolil len jeden závit z medenej rúrky. Teda $N = 1$ a priemer rúrky 12 mm. Na obrázku nižšie sú znázornené, pre ilustráciu dve antény, na ľavo je anténa s jedným závitom a na pravo je anténa s viac závitmi. Ohýbať rúrku za studena môžeme pomocou ohýbačky alebo svojpomocne, podľa kruhovej predlohy (šablóny) a tak dosiahneme kružnicu dokonalého tvaru. Odporúča sa pri ohýbaní do rúrky nasypať piesok a potom je ohýbanie jednoduchšie a nedôjde k zalomeniu materiálu. Konkrétny materiál, ktorý chcem použiť je polotvrdá rúrka s pevnosťou R 220.



Obrázok 3.1 MLA

Pri výbere väzbovej slučky som zvolil variantu, kde sa slučka nachádza oproti doskového kondenzátora. Materiál je zasa meď, teda medená žila (drôt) o priemere 3 mm. Slučku môžeme vidieť aj na obrázku uvedenom vyššie (Obrázok 3.1), kde je použitý izolovaný vodič modrej farby. Koniec slučky sa spravidla pripája na kábel RG58, ktorý sa v rádiotechnike často používa. Veľkosť slučky som navrhol na 1/5 priemeru hlavnej slučky pre dobré impedančné prispôsobenie. Táto slučka bude slúžiť na vylad'ovanie PSV (Pomer Stojatých Vln). Vylad'ovanie bude realizované PSV metrom, kde je najdôležitejšie sa dostať k hodnote PSV = 1. Vertikálnym pohybom slučky v rozpätí cca 60 mm môžeme regulovať a testovať správanie antény, a tak získať impedančné prispôsobenie. Hodnotu PSV môžeme aj simulovať v programe MMANA GAL. Väzbová slučka môže byť realizovaná toroidom alebo T-bočnikom, ale aj iným spôsobom, čo ilustruje (Obrázok 2.7) v kapitole 2.

Pre pripojenie k analyzátorom som zvolil konektor typu N-MALE. Jedná sa o robustný a pevný konektor so závitom.



Obrázok 3.2 Konektor N, koaxiálny kábel

Na ladenie frekvencie sa používa najčastejšie, pri MLA, segmentový ladiaci kondenzátor. Takéto kondenzátory sa dávajú vyrábať na zákazku. V mojom prípade regulovanie frekvencie riešim dvoma skrutkami s plochou hlavičkou. Vďaka závitom budem môcť meniť kapacitu jemným pootáčaním až dosiahnem hodnotu 144 MHz, ktorú som si zvolil a chcem, aby na tom kmitočte bola hodnota PSV = 1. Neriešil som zapojenie paralelného segmentového kondenzátora z toho hľadiska, že zo základného empirického vzťahu si môžem vzduchovú medzeru vypočítať na potrebnú kapacitu.

$$d = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r S}{c} [m]$$

Podstata kondenzátora je vystihnúť už v samotnej elektrotechnickej značke, kde sú voči sebe dve vodorovné dosky, len v tomto prípade ide o skrutky kruhového tvaru z vodivého materiálu. Pre dielektrikum som nevyužíval žiadny pevný materiál. Je to len vzduchová medzera. Konštrukčne je to realizované tak, že v mieste rozpojenia kružnice hlavnej slučky som do oboch častí vlioval matice, nasledovne som ich prispájkoval. V prílohách sú detailnejšie fotky vyrobenej antény. Pre riešenie som uvažoval aj nad bočným upevnením skrutky, kde by som zmenšoval alebo zväčšoval podľa potreby medzeru medzi koncami oblúku. Pre toto riešenie som sa nerozhodol z dôvodu zmenšovania priemeru hlavnej slučky pri použití bočne upevnenej skrutky. Na nasledovnom obrázku (Obrázok 3.3) je znázornené moje riešenie vľavo a riešenie bočného upevnenia skrutky vpravo. Pri mojom riešení sa nemení priemer hlavnej slučky a tým budú splnené vypočítané hodnoty. Pri zmenšovaní vzduchovej medzery bude klesať frekvencia a pri zväčšovaní bude mať tendenciu stúpať. Pri vyladovaní sa dostanem na požadovanú frekvenciu a obidve skrutky zafixujem, aby nedochádzalo k rozladovaniu. Pri doladovaní bude treba dbať nato, dostať anténu do rezonancie, ktorá je popisovaná v teoretickej časti.

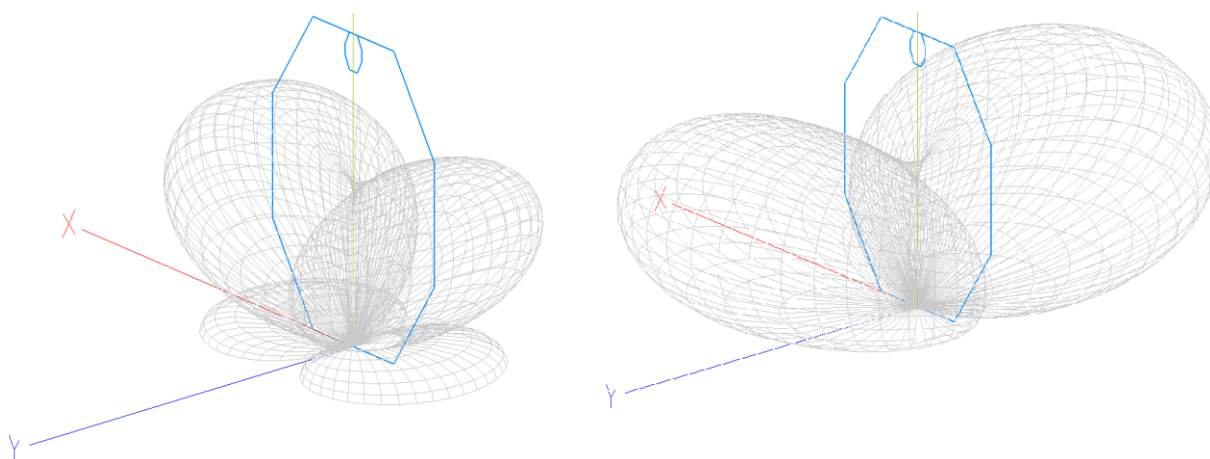


Obrázok 3.3 Regulovanie skrutkami, moje riešenie vľavo a riešenie z [12] vpravo

Pre uchytenie hlavnej a väzbovej slučky som použil plexisklo. Nie je to vodivý materiál, takže pre vytvorenie stojana to poslúži dostatočujúco.

Pri takomto návrhu je vhodné využiť dostupný softvér pre modelovanie a simulovanie antén, kde si naše rozmery a hodnoty zadáme do programu a on nám ich spracuje a vie nám vypísať zisk, jednotlivé reaktancie atď. Samozrejmosťou je vyžarovacia charakteristika pri horizontálnych a vertikálnych polarizáciách. Môj návrh antény som realizoval v MMANA GAL [14]. Konfiguračný súbor sa nachádza v prílohe na CD. Pre jednoduchosť kreslenia vodičov v tomto programe stačí spraviť šesťuholník. Anténu si môžeme otestovať virtuálne s použitím viacerých konštrukčných

materiálov ako je napr. Cu vodič (rúrka), Fe alebo Al vodič. Umiestnenie antény je možné buď vo voľnom, reálnom alebo perfektnom priestore v určenej výške nad zemou podľa potreby. Grafy PSV sú jednoducho generovateľné. Potom ich bude možné porovnávať so skutočnou anténou a tým zistíme, nakoľko je presný tento program. Pre malú ukážku snímok z programu MMANA GAL (Obrázok 3.4). Zo štandardných parametrov týkajúcich sa antén je možné zadávať aj hodnoty indukčnosti, kapacity, frekvencie a činiteľ akosti. Umiestnenie zdroja na anténu je interaktívne. Vkladať zdroj môžeme, kde chceme a tak testovať meniace sa parametre. Pri MLA sa dajú vodiče segmentovať, a tak nie je potrebné konštruovať v softvéri kružnicu, pretože kružnica je zložená z veľmi malých úsečiek a pomocou segmentácie je to to isté ako kružnica. Z priložených obrázkoch sa javí, že vyžarovacia charakteristika nemá v každom bode rovnakú intenzitu. Zisk tejto antény je podľa výpisu 2,06 dBi. Tieto parametre sa môžu odlíšiť od nameraných hodnôt, ale pre predstavu a lepšie pochopenie problematiky, je tento softvér dobrá pomôcka pri výrobe antén.



Obrázok 3.4 3D vyžarovacia charakteristika MLA 144 MHz

3.2 Návrh a výpočty pre MLA

Pri návrhu som zistil, ktoré voľné frekvencie sú dostupné. Zvolil som jednu pevnú frekvenciu z rádioamatérskych voľných frekvencií. Konkrétne veľmi krátke vlny, ktorým odpovedá rozsah od 30 do 300 MHz. Zvolil som pre návrh frekvenciu 144 MHz, lebo patrí k frekvenciám, ktoré sa využívajú v geológii. V literatúre sa uvádza, že nižšie frekvencie lepšie prenikajú do hĺbky povrchu a vyššie frekvencie zvyšujú schopnosť lepšieho rozlišovania. Bežne používané antény pre prienik do sedimentu v prieskumoch pracujú na frekvenciách od 50 MHz do 500 MHz [9].

Frekvencia 144 MHz je typicky označovaná ako dvojmeter. Pri návrhu som si musel zvoliť niektoré parametre sám, ako je napríklad dĺžka vodiča.

Dĺžka vodiča hlavnej slučky: $l = 0,65 [m]$, materiál medená rúrka.

Priemer vodiča: $d = 0,012 \text{ [m]}$, hrúbka steny rúrky $0,001 \text{ [m]}$.

Závity: $N = 1$, zvolil som jeden závit, pretože je to vyhovujúce pre VKV a konštrukčne jednoduchšie.

Obvod hlavnej slučky: $O = 0,65 \text{ [m]}$.

Priemer hlavnej slučky: $D = \frac{O}{\pi} = \frac{0,65}{\pi} = 0,2069 \text{ [m]}$.

Obvod väzbovej slučky: $O_v = \frac{O}{5} = \frac{0,65}{5} = 0,13 \text{ [m]}$.

Priemer väzbovej slučky: $D_v = \frac{O_v}{\pi} = \frac{0,13}{\pi} = 0,041 \text{ [m]}$.

Plocha hlavnej slučky: $A = \frac{\pi}{4} * D^2 = \frac{\pi}{4} * 0,2069^2 = 0,03362 \text{ [m}^2\text{]}$.

Indukčnosť hlavnej slučky: $L = 0,2 * O * N^2 \left(\ln \frac{O}{d} - 1,07 \right)$

$$L = 0,2 * 0,65 * 1^2 * \left(\ln \frac{0,65}{0,012} - 1,07 \right) = 0,3798 \text{ [}\mu\text{H]}.$$

Vlnová dĺžka: $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3*10^8}{144*10^6} = 2,083 \text{ [m]}$.

Výpočet pracovnej frekvencie: $f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3*10^8}{2,083} = 144,023 \text{ [MHz]}$.

Pracovná frekvencia je nastavená na pevnú hodnotu, preto šírka pásma pri výpočtoch je nepodstatná, ale možnosť naladenia je $f_{min} = 100 \text{ MHz}$ a $f_{max} = 180 \text{ MHz}$ z čoho by vyplývalo, že šírka pásma bude: $B = f_{max} - f_{min} = 180 - 100 = 80 \text{ MHz}$.

Vyžarovací odpor: $R_{vyz} = N^2 * 3.38 * 10^{-8} (f_0^2 * 10,76 * A)^2$

$$R_{vyz} = 1^2 * 3.38 * 10^{-8} (144^2 * 10,76 * 0,03362)^2 = 1,902 \text{ [}\Omega\text{]}.$$

Stratový odpor: $R_L = 9.96 * 10^{-4} \sqrt{144} * \frac{0,65}{0,2069} = 0,03755 \text{ [}\Omega\text{]}.$

Účinnosť: $\eta = \frac{R_{vyz}}{R_{vyz} + R_L} = \frac{1,902}{1,902 + 0,03755} * 100 = 98,1 \text{ [%]}$. Účinnosť z výpočtu môže byť odlišná v reálnom použití, pretože závisí na vstupných veličinách, ktoré môžu byť ovplyvňované prostredím a okolitými podmienkami.

Reaktancia hlavnej slučky:

$$X_L = 2\pi * f * L = 2\pi * 144 * 10^6 * 0,3798 * 10^{-6} = 343,7 \text{ [}\Omega\text{]}.$$

Rezonančná kapacita:

$$C = \frac{1}{(2\pi f)^2 L} = \frac{1}{(2\pi \cdot 144 \cdot 10^6)^2 \cdot 0.3798 \cdot 10^{-6}} = 3,21 \text{ [pF]}.$$

Dodávaná kapacita pre jeden závit:

$$C_d = 2,69 \cdot 0 = 2,69 \cdot 0,65 = 1,7485 \text{ [pF]}.$$

Ladiaca kapacita:

$$C_t = C - C_d = 3,21 - 1,7485 = 1,4615 \text{ [pF]}.$$

Výpočet obsahu kruhovej plochy S ladiacej skrutky:

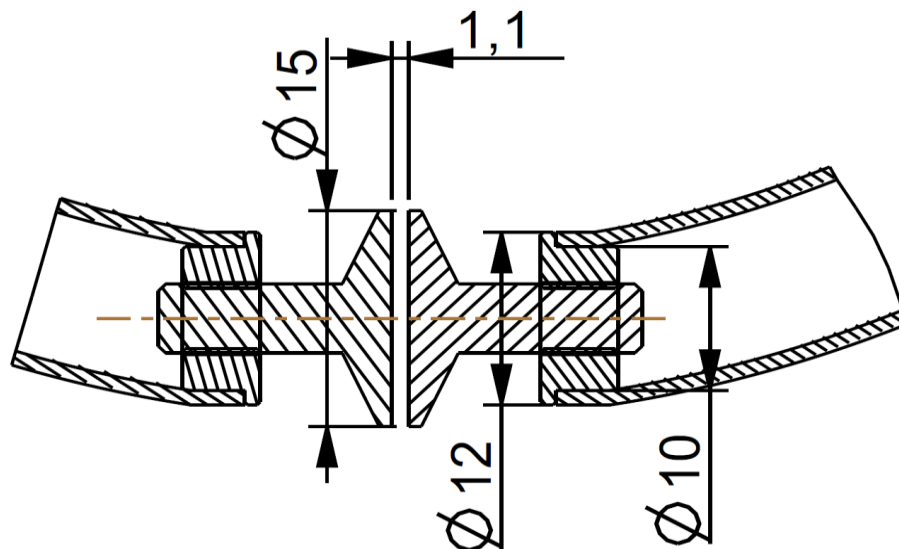
polomer: $r = 0,075 \text{ [m]}$

$$S = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot 0,075^2 = 0.01769 \text{ [m}^2\text{]}.$$

Výpočet vzduchovej medzery:

$$d = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r S}{C} = \frac{8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 1,00054 \cdot 0,01769}{1,4615} = 0,0011 \text{ [m]}.$$

Vzduchovú medzeru a samotnú realizáciu môžeme vidieť v reze na obrázku (Obrázok 3.5). V reze je znázornené 1,1 mm, čo je veľmi malá vzduchová medzera, ale podľa výpočtu by mala dostačovať na uchovanie náboja, a teda kapacity o hodnote 1,46 pF. Táto hodnota sa môže v skutočnosti líšiť. Preto použitie ladiacich skrutiek má svoje opodstatnenie a bez skrutiek by bolo problematické podľa výpočtu dostať okamžite dokonalú anténu na kmitočte 144 MHz. Reálna podoba a konštrukčné fotky sa budú nachádzať v prílohách.



Obrázok 3.5 Rez skrutiek a vzduchová medzera 1,1 [mm]

Činiteľ kvality:

$$Q = \frac{X_L}{2(R_{vyz} + R_L)} = \frac{343.69}{2(1.902 + 0.03754)} = 88,6 [-]$$

Hĺbka vniknutia do medenej rúrky (skin efekt):

$$h_{cu} = \frac{50,3 * \sqrt{1,673}}{\sqrt{f}} = \frac{50,3 * \sqrt{1,673}}{\sqrt{144}} = 5,4 [\mu m]$$

Z výpočtu je vidieť, že čím vyššia frekvencia tak prúdy sa sústreďujú k okraju vodiča. Podľa výpočtu je to v hĺbke 5,4 μm .

Výpočet prahového napätia kondenzátora:

$$U = E_p * d = 3 * 10^3 * 1,1 = 3300 [V] = 3,3 [kV]$$

E_p - elektrická pevnosť vzduchu 3 kV /mm , d- vzduchová medzera

4 Popis merania funkčného modelu antény a vyhodnocovanie výsledkov

4.1 Vylad'ovanie antény do rezonancie

4.1.1 Vylad'ovanie pomocou prístroja RigExpert

Po skonštruovaní každej antény je dôležité dolad'ovanie na požadovanú frekvenciu a na najlepší pomer stojatých vln. U MLA to nie je vôbec inak, takže na tento proces som v prvom meraní použil anténny analyzátor RigExpert AA-520. Tento analyzátor má vylepšenie oproti svojim predchodcom, hlavne v ochrane pred statickou elektrinou. Merací prístroj má frekvenčný rozsah od 1 do 520 MHz, čo je dostačujúce pre moje meranie, lebo anténa je navrhnutá pre kmitočet 144 MHz. Je tam používaný už 16 bitový A/D prevodník a displej je dobre čitateľný. Referenčná impedancia je podľa manuálových listín $50\ \Omega$. K špecifikáciám tohto prístroja patrí aj frekvenčné rozlíšenie 1 kHz. Pre meranie PSV máme dve možnosti. Prvá je využitie stĺpcového grafu, kde nám indikuje PSV na nastavenom kmitočte. Druhá možnosť je graf, v ktorom sa môžeme pohybovať pomocou kurzora na kmitočte, kde je pomer najlepší a podľa toho vieme na akej frekvencii pracuje naša anténa. Keď to nie je vyhovujúce, musíme doladiť aj frekvenciu pomocou ladiacich skrutiek, v tomto prípade je myslená moja bakalárska práca. Merací rozsah pre pomer stojatých vln je v rozsahu 1-10, takže pri $PSV > 10$ nám graf nič nezobrazí. Všetky namerané grafické hodnoty môžeme pomocou gombíka 6 uložiť do pamäte. K dispozícii je možných 100 záznamov. Efektívnejšie využitie tohto prístroja je merať priamo na PC, kde pomocou USB kábla môžeme merať okamžité hodnoty prostredníctvom priloženého softvéru. Priložený softvér je AntScope, v ktorom máme plne grafické prostredie. Všetky funkcie využiteľné na prístroji sú využiteľné aj v tomto programe. Pri meraní hodnôt R a X máme taktiež tieto možnosti a konkrétne na prístroji pri stlačení gombíka 5, kde sa nám zobrazí priebeh reálnej zložky impedancie R (rezistencia) a imaginárna zložka X, ktorá je závislá na kmitočte. Pri vyladenej anténe nám imaginárna zložka musí vykazovať nulové hodnoty na požadovanom kmitočte a $50\ \Omega$ nám musí vykazovať reálna zložka R. Na grafe sa zobrazujú hodnoty X v podobe prerušovanej čiary. X predstavuje imaginárnu zložku. Plnou čiarou je vykreslená reálna zložka impedancie antény (R).

Pri dolad'ovaní PSV sa mi nedarilo dosiahnuť hodnoty požadované okolo 1 až 1,5, a preto bolo treba regulovať u MLA s väzbovou slučkou. Pomocou závitového mechanizmu som väzbovú slučku musel približovať a vzdal'ovať od hlavnej slučky, čím mi merací prístroj ukazoval zmeny okamžite po posunutí. Pri testovaní som skúšal slučku dať do vzdialenosti maximálne 5 cm od hlavnej slučky a postupne som ju približoval a hodnoty sa lepšili. Nutné poznamenať, že veľkosť väzbovej slučky bola 1/5 z priemeru hlavnej slučky. Hodnoty pri maximálnom priblížení nevyhovovali, a preto som prešiel ku kroku, kde som prispôbil dĺžku väzbovej slučky. V literatúre sa uvádza, použitie 1/5 veľkosti hl. slučky, ale to je len teoretické, pretože pri reálnom modeli je to individuálne, a preto som

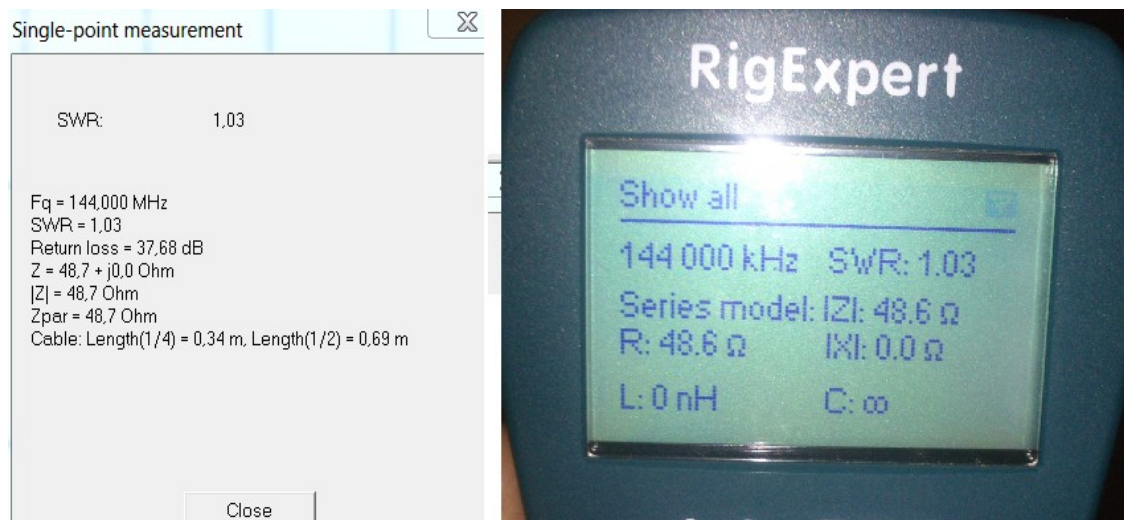
siahol po dlhšom obvode väzbovej slučky a to na $2/5$ priemeru hlavnej slučky. Tento krok bol nutný, pretože hodnoty boli okolo $PSV = 9$, čo je nevyhovujúca hodnota, pokiaľ chceme anténu mať v požadovanom rozpätí 1 až 1,5. Na nasledujúcom snímku (Obrázok 4.1) je znázornená zmena na fotografii, kde je odfočená MLA s veľkosťou $1/5$ a potom $2/5$ veľkosti hl. slučky.



Obrázok 4.1 MLA pred a po výmene slučky veľkosti $2/5$ z hl. slučky

Pri tomto kroku som odspájkoval pôvodne navrhnutú slučku a novú slučku som ohol do kružnicového tvaru. Stredový vodič som prispájkoval na jeden koniec slučky a tieniaci pletenec na druhý koniec slučky. Po týchto krokoch som s meraním pokračoval. Anténu som pripojil na analyzátor a postupne som menil vzdialenosť od hlavnej slučky a popritom som si pomocou navrhnutého doskového kondenzátora nalaďoval frekvenciu 144 MHz, ktorú som si pri točení skrutky hneď monitoroval na displeji meracieho prístroja. Pomery sa zlepšovali a nakoniec najlepšie hodnoty som dosahoval, keď bola slučka takmer opretá o hlavnú slučku. Keďže je na väzbovej slučke izolácia, tak k mechanickému spojeniu vodičov nedochádza. Medzera tým pádom medzi slučkami je približne 1 mm. PSV pri novej slučke už dosahovalo hodnoty od 1 do 2. Najlepšie sa anténa správala, keď bola umiestnená v relatívne voľnom priestore vo výške 1 meter nad zemou. Veľký vplyv na hodnoty mali predmety v blízkosti antény. Najčastejšie to boli predmety z kovového materiálu. Pri meraní som si všimol, že doskový kondenzátor je veľmi citlivý na zmenu prostredia a to aj na vlhkosť vzduchu a nepriaznivé podmienky pri meraní vonku. Jedným zásadným faktorom bolo, že pri meraní z odlišných uhlov hodnoty neboli stabilné. Nebolo to spôsobené nesprávnym namontovaním N-konektora, ale ako som neskôr zistil, napájací kábel (RG58) ide okolo kondenzátora a to spôsobovalo zmenu dielektrika

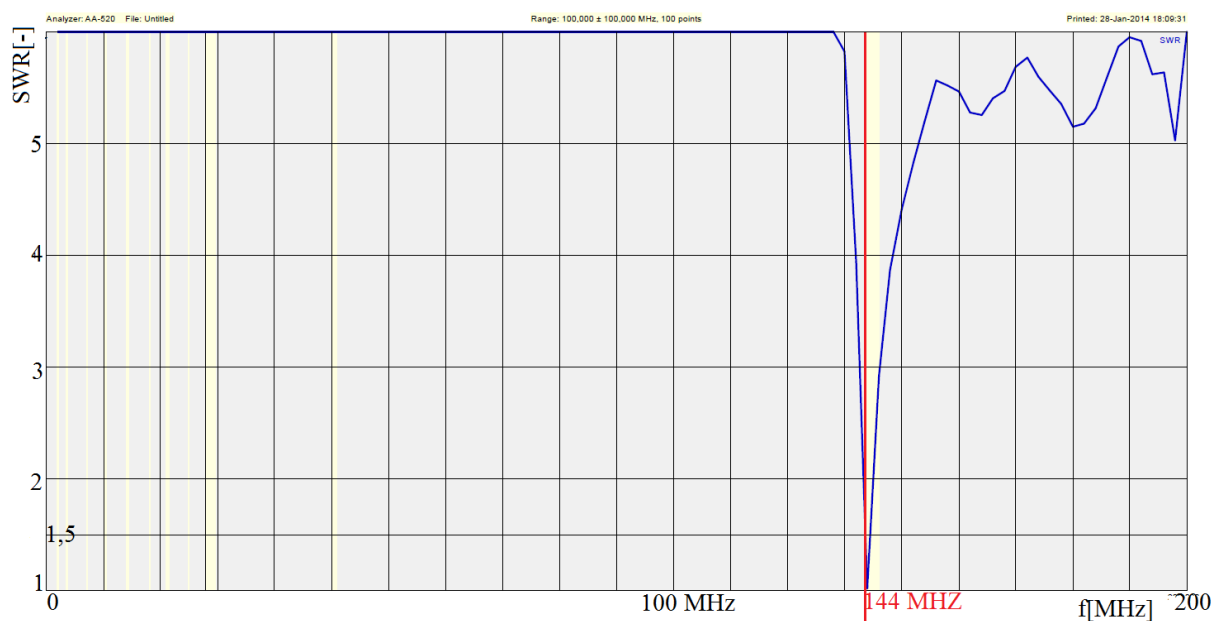
kondenzátora, a preto hodnoty neboli stabilné. Vyriešenie problému bolo jednoduché. Stačilo zafixovať kábel, tak aby sa nepohyboval v mieste okolo kondenzátorových skrutiiek. Po odstránení malých chýb, som mohol už doladiť hodnoty PSV a zložky impedancie. MLA sa javila ako úzkopásmová, preto bolo možné na displej navoliť šírku pásma, tak aby bolo zreteľné, na akom kmitočte je pomer najlepší.



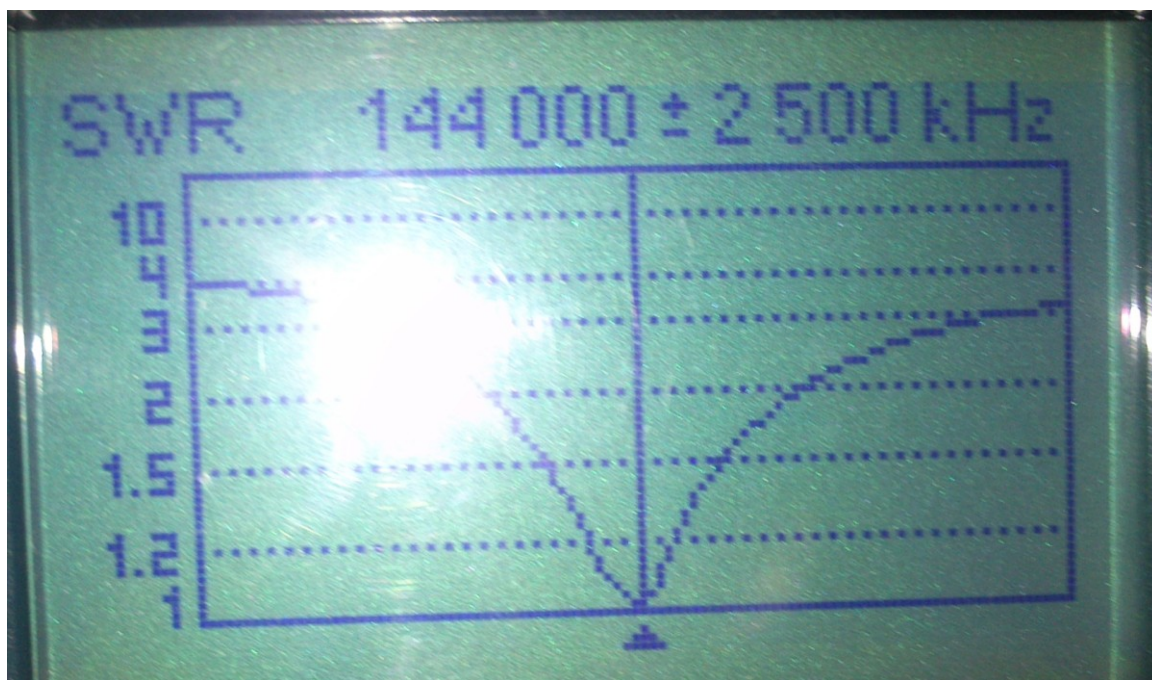
Obrázok 4.2 Najlepšie namerané hodnoty PSV z programu AntScope a displej RigExpert

Na hodnotách uvedených na (Obrázok 4.2) je možné vidieť najlepšie hodnoty, ktoré sa mi podarilo získať s použitím anténneho meracieho prístroja a to na obrázku vľavo pomocou softvéru k RigExpert a nasledovne vpravo sú hodnoty priamo na displeji. Na obrázku je vidieť, že anténa je prispôbena a je nastavená na kmitočet 144 MHz. Pomer stojatých vln má hodnotu 1,03 čo je hodnota v rozpätí od 1- 1,5. Z ostatných hodnôt ako je impedancia má reálna zložka (R) 48,6 Ω (ideálne 50 Ω). Imaginárna zložka má hodnotu 0,0 Ω . Pri meraní som využil grafické vykreslenie, kde je prehľadnejšie vidieť, ako sa PSV mení a aké hodnoty nadobúdajú aj jednotlivé namerané veličiny. Na grafe (Obrázok 4.3) je vidieť celý priebeh v rozsahu od 0 - 200 MHz na osi x. Bielym pásom je znázornená špička signálu u hodnoty 1 na 144 MHz. Ďalšie meranie a graf vo forme zobrazenia na displeji nám zobrazuje ten istý graf meraný priamo bez použitia PC. Jednotlivé grafy sa zhodujú. Prepojenie cez PC nemá žiadny rušivý vplyv v porovnaní s priamym meraním na prístroji.

Môžeme to vidieť na grafe (Obrázok 4.4), kde je použitý merací prístroj bez PC. Na prístroji bolo nastavené pásmo ± 2500 kHz, tým môžeme pozorovať zobrazenú krivku pod 144 MHz a nad 144 MHz. Z grafu je zjavne, že hodnota PSV sa blíži k 1. Ďalšie grafy z merania PSV pomocou prístroja RigExpert AA-520 sa nachádzajú v prílohách. Tu sú demonštrované najlepšie výsledky dosiahnuté pomocou prístroja. Z tohto merania je viditeľné, že návrh a výpočty antény boli správne a anténa je vyladená do rezonancie.

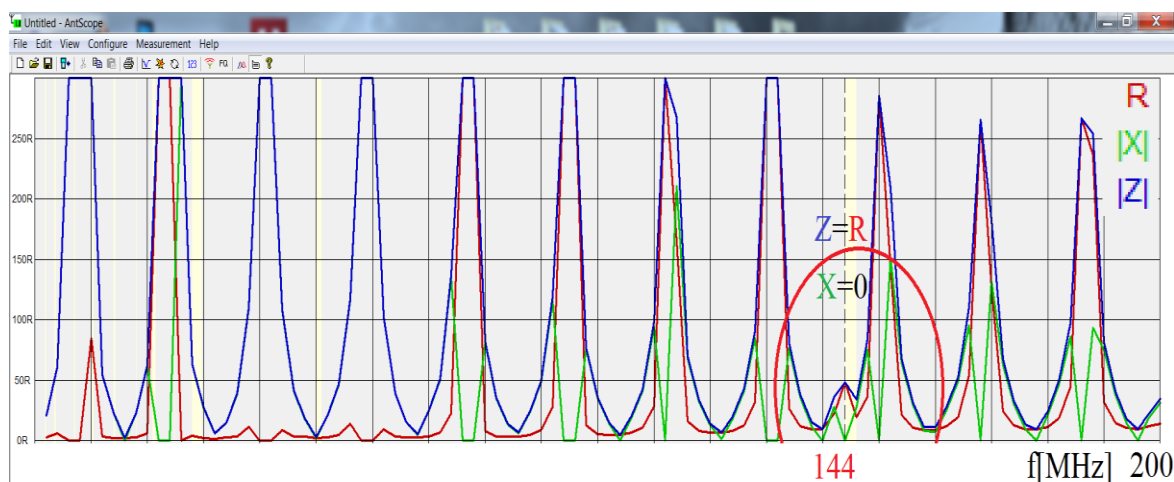


Obrázok 4.3 Graf PSV 1



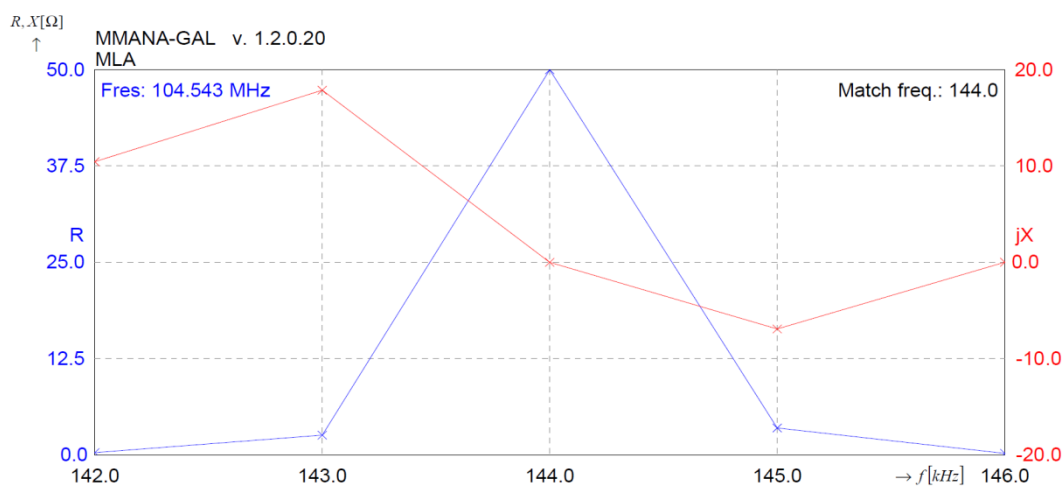
Obrázok 4.4 Graf PSV 2

Grafy som porovnal s programovo navrhnutou anténou MMANA, kde sú hodnoty identické a výsledky PSV sú uvedené v prílohách na CD. Potvrdilo sa mi, že simulačný program je naozaj kvalitne prepracovaný, pretože navrhnuté hodnoty po vložení vykazujú veľkú zhodu s nameraným modelom. Ďalej treba spomenúť parametre, z ktorých je jasné, že pri rezonancii má tento typ antény iba reálnu zložku, pretože sa jedná o paralelný rezonančný obvod, ktorý má len činný odpor R . Z dôsledku vychýlenia od pracovného kmitočtu 144 MHz dochádza k poklesu reálnej zložky a narastá reaktancia. Nárast reaktancie je indukčného alebo kapacitného charakteru.



Obrázok 4.5 Graf R , X , Z

Z grafu (Obrázok 4.5), kde sú hodnoty R , X , Z je vidieť, že pri rezonančnom kmitočte je anténa prispôbená. Hodnota činného odporu R v kmitočte je 50Ω . Rovnakú hodnotu nadobúda aj impedancia, takže tieto dve hodnoty sú si rovné a môžeme ich považovať za tú istú hodnotu ($Z = 50 \Omega$). Na grafe sú parametre popísané rozdielnymi farbami a to činný odpor R červenou farbou a impedancia modrou farbou. Farba reaktančnej zložky je zelená a má nulovú hodnotu, ako to bolo vidieť aj na displeji číselne. Pre porovnanie s programom MMANA prikladám ďalší graf pod textom (Obrázok 4.6).



Obrázok 4.6 Graf R , X

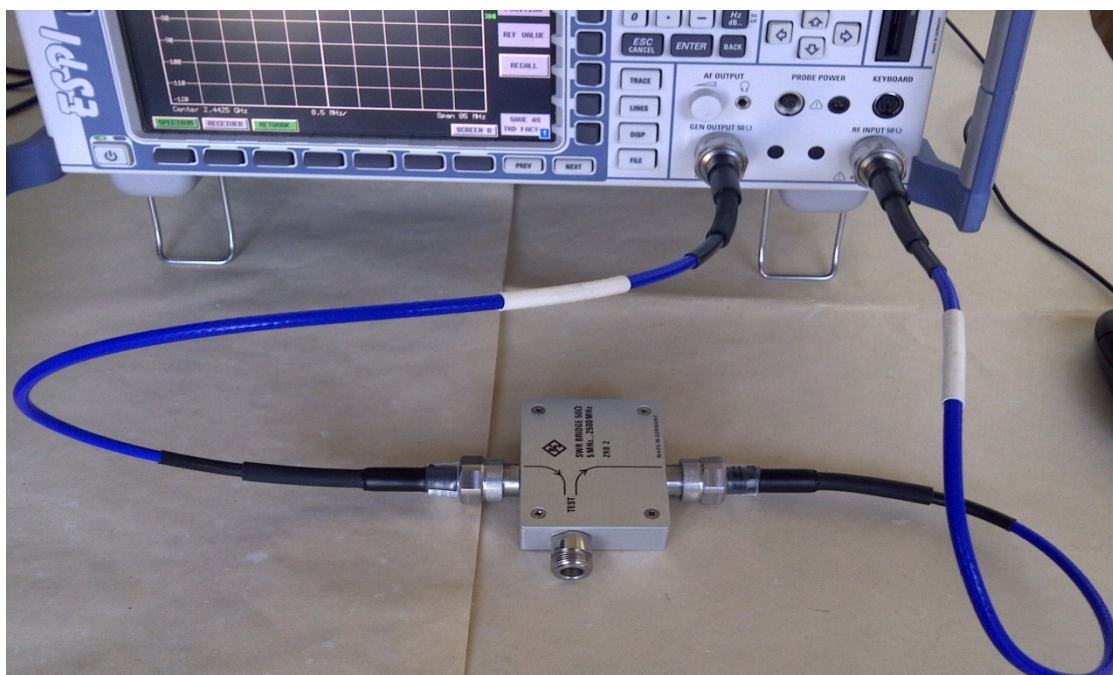
4.2 Meranie na analyzátoe ESPI7 pomocou PSV mostíka

Pre toto meranie je potrebné poznať funkčnosť jednotlivých komponentov a podstatu merania. Tento mostík je od firmy Rohde&Schwarz a typové označenie je SWR Bridge ZRB2. Základné parametre tohto prípravku sú hlavne veľký frekvenčný rozsah od 5 do 3000 MHz a charakteristická impedancia 50Ω alebo 75Ω a robustná konštrukcia. Tento mostík má viacero použití. Je určený na

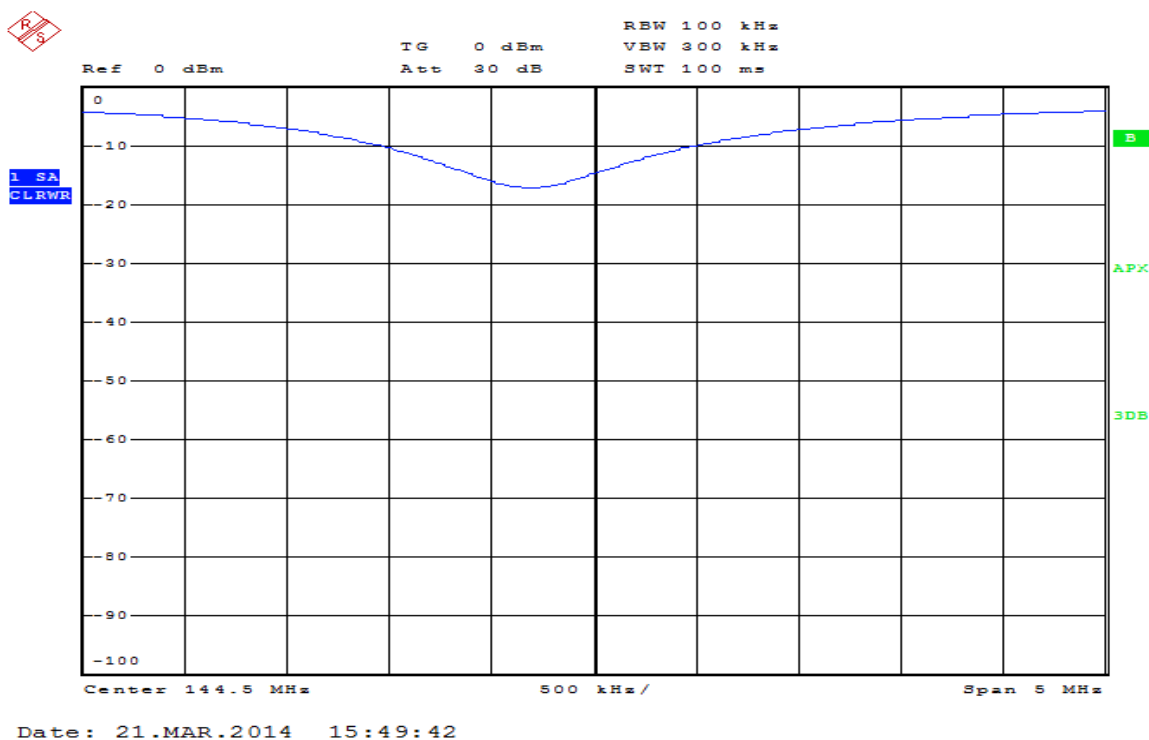
meranie odrazového koeficientu napríklad filtrov alebo zosilňovačov. Mostík je pripojiteľný pomocou N-konektorov. Pri meraní sa pripája vstup mostíka na výstup generátora. Výstupná časť mostíka sa musí pripojiť na vstup analyzátora. Pri tomto meraní samostatný mostík nemá použitie, pretože by sme nemali vstupnú a výstupnú svorku, kde pripojiť, a preto sa na tento účel používajú špeciálne analyzátory. V mojom prípade som využil výrobok od Rohde&Schwarz a to konkrétne spektrálny analyzátor ESPI7. Analyzátor sa vyznačuje veľkou presnosťou s frekvenčným rozsahom od 9 kHz - 7 GHz. Presne popisovať aké všetky funkcie má tento analyzátor nie je náplňou mojej práce, preto spomeniem len niektoré základne veci, ktoré som pri meraní využil. ESPI7 má širokú konektivitu, takže ako USB porty a LAN port je samozrejmosť. Pomocou LAN je možné získavať v okamžiku hodnoty do tabuliek a aj vykreslené grafy. Pri meraní na tomto prístroji som sa zamerlal na rozptylové parametre. Tieto parametre sa často označujú ako S-parametre a popisujú vstupné a výstupné vzťahy medzi portami (svorky) v elektrickom systéme. V praxi sa často používajú parametre označované ako S11 v súvislosti s anténnymi systémami. S11 je parameter, ktorý predstavuje koľko energie sa odrazí od antény a je známy pod názvom koeficient odrazu. Zjednodušene povedané generovaný signál nám ide na vstup mostíka a časť signálu sa vyžiarí von anténou do priestoru a zvyšok energie sa vracia späť do analyzátora. Ak pri meraní naše hodnoty dosahujú 0 dB, tak väčšina energie sa odráža naspäť do analyzátora. Preto pri tomto meraní ide o to, aby sa nám čo najviac energie vyžiarilo na svorky antény alebo inak povedané, vyžiarenie energie von z antény do meracieho prostredia [16].

Pred meraním je treba prístroj vždy skalibrovať, a preto sa vždy musí pripojiť mostík na vstupnú a výstupnú svorku. Pri meraní som využil pomoc kolegu Bc. Petra Vaška, ktorý pri svojej diplomovej práci využíva ESPI7 a PSV mostík. Meranie sme začali nastavením spektrálneho analyzátora do režimu Spektrum > Network. Potom sme pripojili na generátor vstup mostíka a výstupná časť išla naspäť do analyzátora. Tretí vývod mostíka označený ako Test sme nezapojili, lebo je určený pre testované zariadenie (MLA). Po tomto pripojení sa nastavil frekvenčný rozsah. Na prístroji pod klávesov FREQ. Pod touto ponukou sa nachádzajú START a STOP klávesy, ktoré znázorňujú počiatočnú a koncovú frekvenciu meraného rozsahu. Nastavenie výstupného výkonu tracking generátoru sme spravili pomocou menu v AMPT. Pred začiatkom merania koeficientu odrazu je vždy potrebná kalibrácia prístroja bez pripojenia antény, aby sme dostali referenčnú hodnotu. Tento úkon sa robí pomocou kalibrov OPEN a SHORT.

Postupne sme robili tieto kroky: NETWORK > SOURCE CAL > CAL REFL OPEN, potom NETWORK > SOURCE CAL > CAL REFL SHORT. Po týchto krokoch sme stlačili NORMALIZE, kde sme si zvolili referenčnú hodnotu (0 dBm).



Obrázok 4.7 Zapojenie mostika pred meraním pri kalibrácii



Obrázok 4.8 Graf z merania v laboratóriu VŠB

Po kalibrovaní sme mohli pripojiť anténu pomocou N-konektora na mostík. Hneď po pripojení antény nám na obrazovke naskočil určitý pokles na hodnote 143,5 MHz, tento rozdiel bol asi -18 dBm. Táto hodnota znamená, koľko energie sa vyžiarilo do priestoru. Hodnota vyčítaná z grafu je -18 dBm a je to nedostačujúca hodnota, pretože väčšina energie sa odrazila späť do analyzátora.

Meranie bolo realizované v laboratóriu VŠB v miestnosti D401. Podmienky neboli vyhovujúce z dôvodu prestavby miestnosti. V miestnosti bolo malo voľného priestoru v okolí antény, takže výsledok bol ovplyvnený viacerými faktormi. Pri meraní som využil prácu Petra Vaška, preto pomocou LAN kábla som hodnoty preniesol do PC. Softvér použitý k tomuto meraniu bol R&S RSCommander, v ktorom pomocou menu Trace sa zobrazia naše namerané výsledky priamo v aplikácii. Tieto výsledky nie sú len čisto grafické, pretože je možnosť uložiť výsledky pomocou Save do .txt súboru. Hodnoty sú použiteľné aj pre rekonštrukciu priebehu v programe MS Excel.

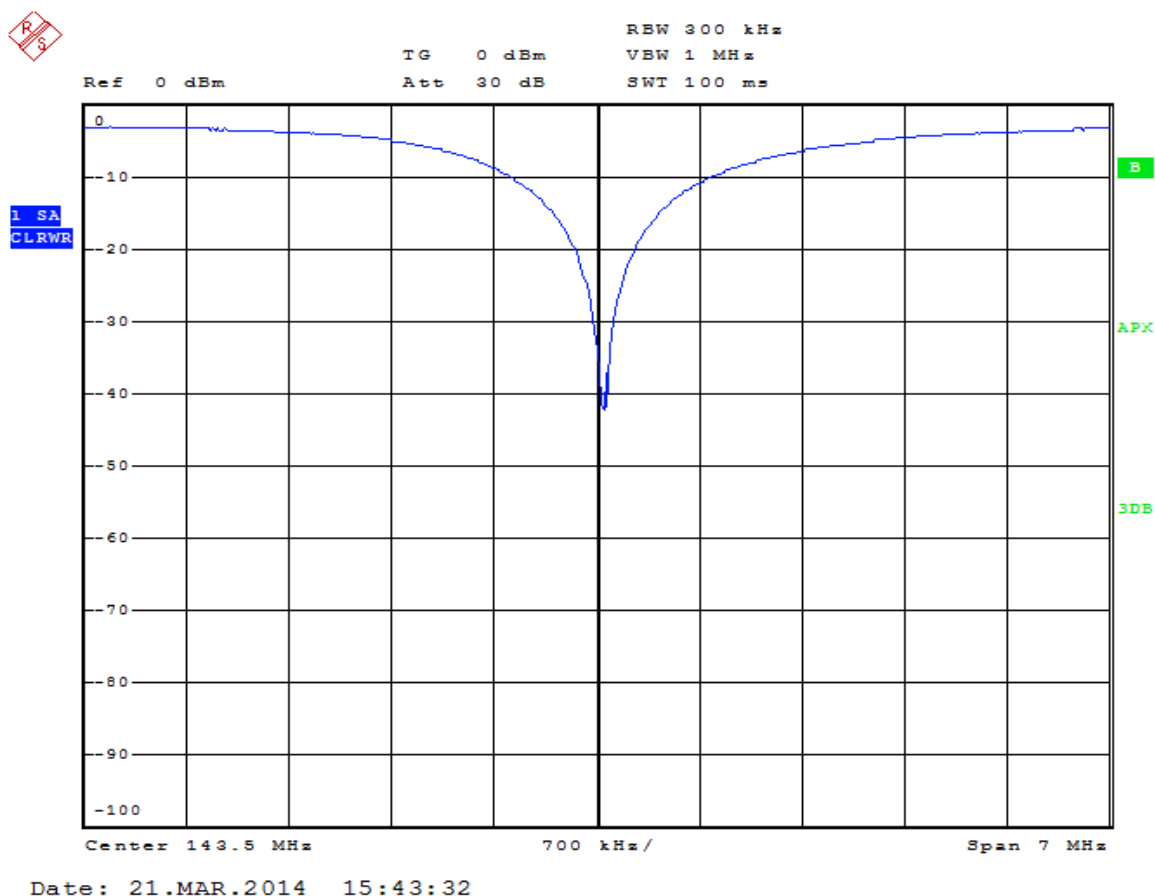
Po meraní s nepriaznivými výsledkami sme sa rozhodli anténu postaviť do voľného priestoru vonku, tak aby naše hodnoty neboli ovplyvnené. Anténa bola asi vo výške 70 cm nad zemou.



Obrázok 4.9 Meranie vo voľnom prostredí

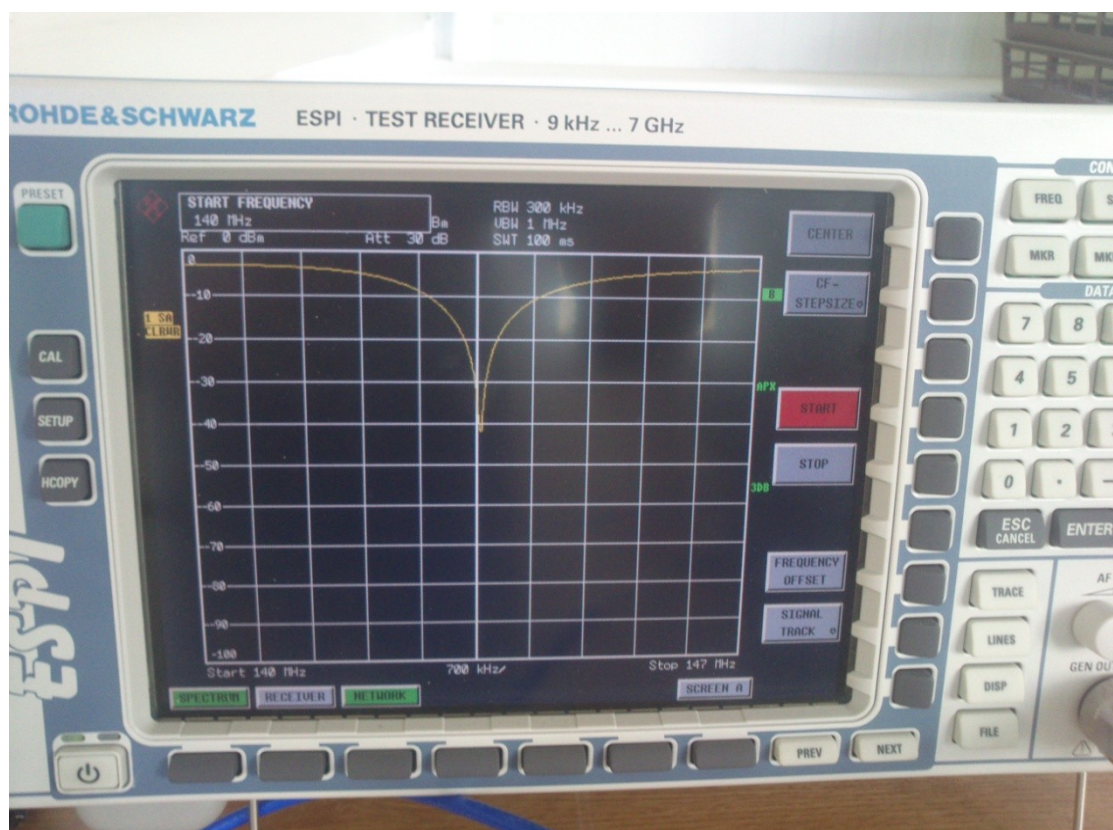
Po tomto kroku sme anténu odpojili a ešte raz sme skalibrovali prístroj podľa popisu v predchádzajúcich vetách.

Hodnoty sa zlepšili a odrazový koeficient mal hodnotu takmer -50 dBm, čo znamenalo, že veľká časť energie sa vyžiarila von do prostredia anténou. Anténa nebola ovplyvňovaná prostredím, preto hodnoty boli akceptovateľné.



Obrázok 4.10 Graf z merania vo voľnom prostredí vykreslený softvérom

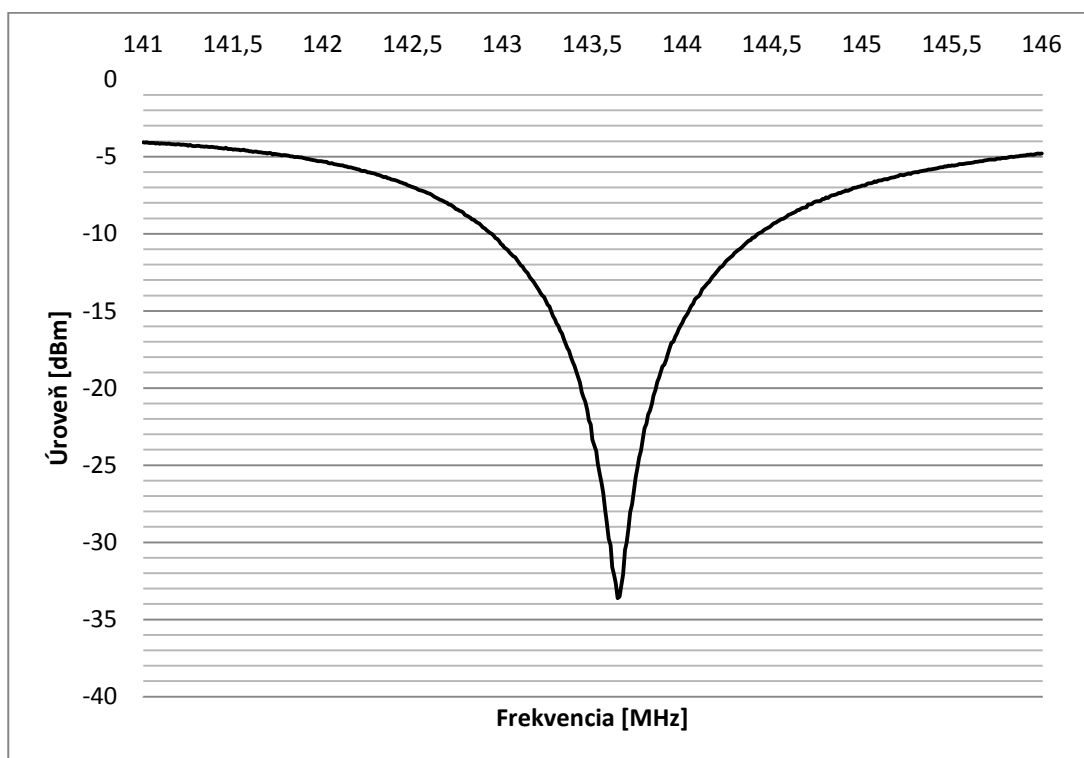
V ďalšom grafe (Obrázok 4.11) chcem demonštrovať to, že hodnoty sú totožné so zobrazenými dátami na displeji analyzátora a tým chcem povedať, že softvérové riešenie kolegovej diplomovej práce je správne zvolené. Pri tomto meraní som zistil, že anténa je citlivá na pohyb v blízkosti antény a pri pohybe v blízkom okolí (polomer 3 metre). Anténa je vtedy citlivá na rozlad'ovanie, čo bolo možné vidieť aj na grafoch, kde sa nám nepodarilo dosiahnuť naladenie 144 MHz. Je to spôsobené aj vzduchovým kondenzátorom, ktorého dielektrikum je vzduch. Ako z teórie vieme, že kondenzátor neadrží náboj len priamo medzi doskami, ale aj na okrajoch. Bolo možné vidieť po prechode ruky v okolí ladiacich skrutiek, že anténa mení frekvenciu v závislosti na dielektriku. Toto meranie bolo veľmi podobne meraniu PSV a v podstate S11 je parameter súvisiaci s PSV.



Obrázok 4.11 Graf z merania vo voľnom prostredí vykreslený na ESPI7

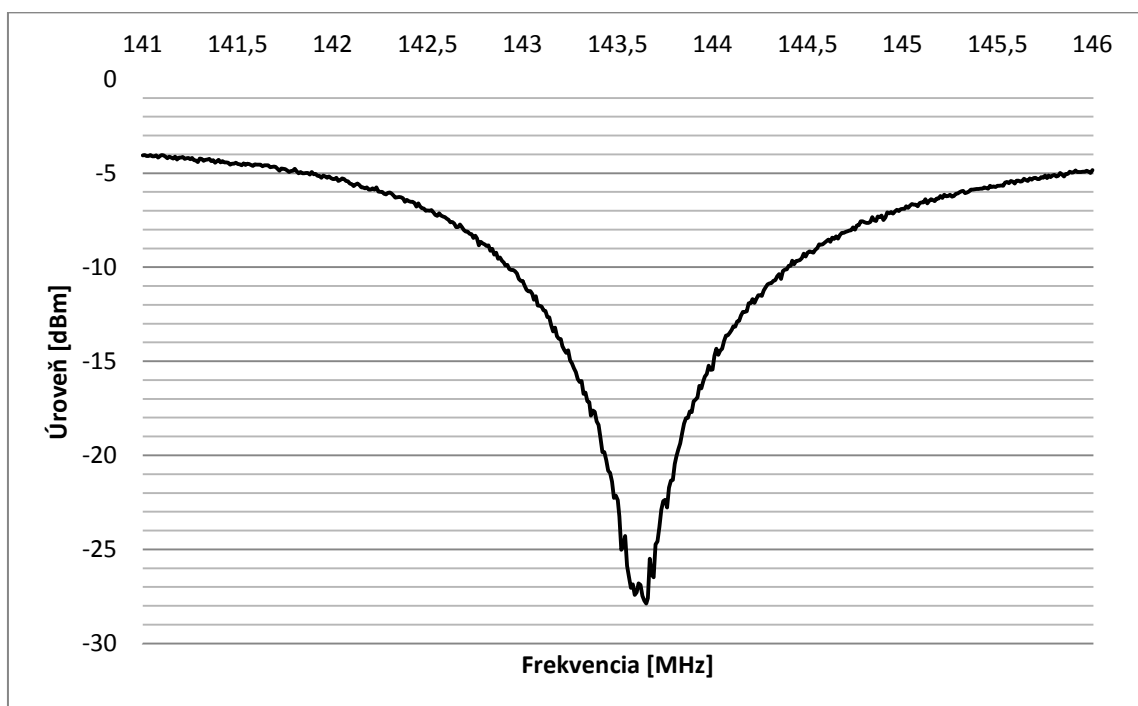
Pri meraní som ukladal číselné hodnoty frekvencie a úrovne odrazu do textového dokumentu. Hodnoty je možné použiť na spätné vykreslenie pomocou Excelu. Jednotlivé tabuľky budú v prílohách na CD.

Na ďalších grafov uvediem len stručný popis, čím to bolo ovplyvňované. Namerané hodnoty vykreslené Excelom sú hodnoty z druhého merania v iný deň, pretože som chcel namerané hodnoty preveriť a získať aj tabuľkové hodnoty pre Excel.



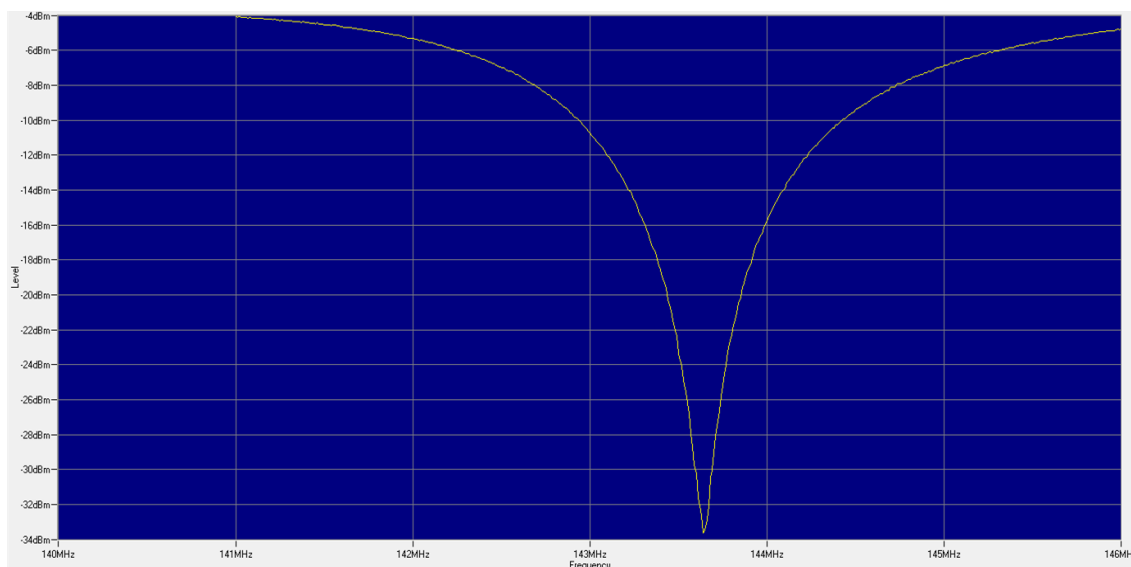
Obrázok 4.12 Graf z merania vykreslený pomocou Excelu (data_hodnoty_v3.xlsx)

Tento graf (Obrázok 4.12) má hodnotu -34 dBm. Je to spôsobené tým, že som bol v blízkosti antény asi na vzdialenosť 2 metre a vonku boli zle poveternostné podmienky.



Obrázok 4.13 Graf z merania vykreslený pomocou Excelu (data_hodnoty_2.xlsx)

Na grafe (Obrázok 4.13) môžeme vidieť, že signál je kostrbatý (šum) a bolo to spôsobené pohybom v okolí antény s polomerom asi jeden meter.



Obrázok 4.14 Graf z merania vykreslený v RSCommander

Grafický výstup z programu RSCommander (Obrázok 4.14) je identický s grafom z Excelu (Obrázok 4.12) a tým chcem poukázať na dôveryhodnosť merania. Namerané hodnoty sú aj na priloženom CD z dôvodu veľkého počtu hodnôt v rozsahu od 141-146 MHz.

4.3 Meranie zisku MLA

Rozhodol som sa, že toto meranie uskutočním, aby som ho mohol porovnať so simulačným programom MMANA, kde mi softvér ukazoval zisk na hodnote 2,06 dBi. Vybral som si substitučnú metódu merania (kapitola 2.9). Ako merací prístroj som použil zapožičaný univerzitný spektrálny analyzátor Rohde&Schwarz s typovým označením FSH8. Je to prístroj určený pre merania od 9kHz do 8GHz, taktiež má zabudovaný tracking generátor a iné funkcie pre meranie a analyzovanie antén. Je to prenosný prístroj, a preto meranie možno uskutočniť kdekoľvek.

Výber referenčnej antény bol zložitejší z dôvodu technického vybavenia. Referenčnú anténu s garantovaným ziskom som zvolil DIAMOND ANTENNA X-200 s parametrami:

Maximálny výkon vysielacza do 200W

Typ konektora: N

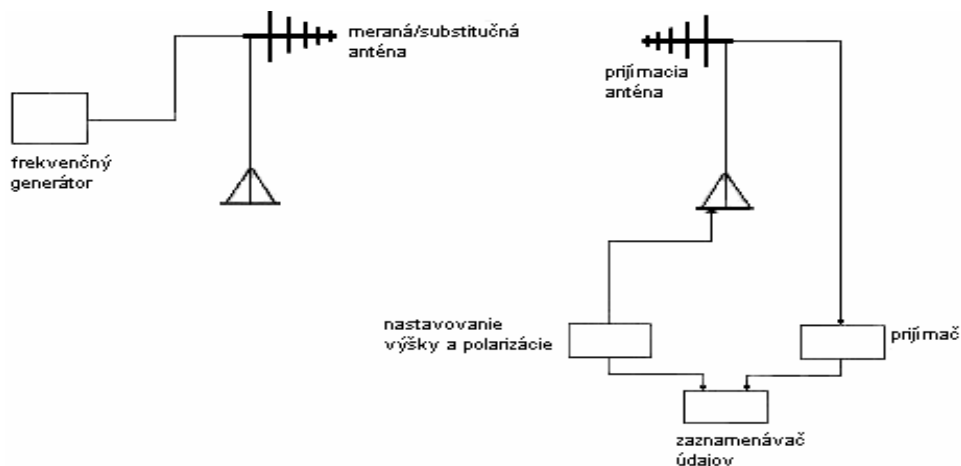
Zisk antény pri 144 MHz 6,0 dB

Impedancia: 50 Ω

Pomer stojatých vln: 1,5

Dĺžka 2,5 [m]

Typ antény $5/8 \lambda$



Obrázok 4.15 Bloková schéma

Pracovali sme s dvoma všesmerovými anténami. Obe antény boli pripojené na analyzátor. Referenčná anténa má garantovaný zisk 6 dB. Po pripojení antény vo vzdialenosti asi 5 metrov od vysielacej antény sa nastavil výkon generátora. Po premeraní referenčnej antény sme ju nahradili mojou MLA a postupným natáčaním sme merali zisk. Toto meranie bolo iba informatívne a nebolo ho možné merať adekvátne. Už len vonkajšie vplyvy a nehomogénne prostredie sú hlavnými faktormi a nedostatočné vybavenie k tomu prispievalo. Toto meranie bolo urobené v blízkosti budovy N. Meracie prístroje a antény boli požičané z učebne N204.



Obrázok 4.16 Analyzátor FSH8

5 Záver

Hlavným cieľom mojej práce bolo teoreticky popísať a naštudovať čo najviac informácií o magnetickej slučkovej anténe. Pri študovaní problematiky som si spisoval použitú literatúru a sledoval som viaceré komplexné riešenia tejto problematiky. V úvode práce som sa zameral všeobecne z pohľadu antén, tak aby bola teória adekvátne použitá na MLA.

Pri študovaní teórie bolo veľmi dôležité si upevniť znalosti o šírke pásma, vlnovej dĺžke atď. Po objasnení základných pojmov som sa zameriaval čisto na MLA z pohľadu konštrukcie a porovnával som typy väzbových slučiek. Postupne v kapitolách som popisoval výber materiálu hlavnej slučky a porovnával som s tienenými slučkami, ktoré sú dobre využiteľné, keď chceme potlačiť elektrickú zložku elektromagnetického poľa. Ja som zvolil medenú rúrku, pretože anténa je riešená ako vysielacia, takže to nemá taký vplyv na správanie antény. Po základnom navrhovaní som musel zvoliť rozmery antény. Z počiatku, keď som nemal naštudované dokumenty ohľadom problematiky, mal som predstavu, že anténa bude musieť byť rozmerná alebo, že bude mať veľa závitov. Podľa výpočtov som zistil, že pre VKV pri 144 MHz stačí len jeden závit hlavnej slučky o priemere 21 cm. Ďalej pri dokončovaní návrhu som vypočítal jednotlivé parametre antény, ktoré sú uvedené v kapitole 3.2. Po návrhu antény som sa dostal k praktickej časti, kde som si mohol overiť svoje výpočty.

V kapitole 3.2 je detailne opísané, ako som postupoval a čo som použil pri konštruovaní. Anténa po zhotovení nebolo vyladená. Zistil som, že navrhnutá väzbová slučka podľa výpočtov nevykazuje požadované hodnoty PSV pri jej regulácii. Preto pomocou experimentálneho zväčšovania väzbovej slučky som sa postupne dostal k vyladenej anténe s hodnotou $PSV = 1,03$.

Po základnom vyladení antény pomocou anténneho analyzátora som pokračoval v premeriavaní antény na kvalitnejších prístrojoch, ako je R&S ESPI7, kde som meral koeficient odrazu antény. Toto meranie bolo komplexnejšie a presnejšie a získal som hodnoty v tabuľkách a grafy, ktoré v najlepšom prípade vykazovali hodnotu takmer -50 dBm. Referenčná hodnota bola 0 dBm, takže z priložených grafov je vidieť prepád z nulovej hodnoty na -50 dBm v okolí frekvencie 144 MHz. Táto hodnota znamenala to, že anténa vyžiarila veľké množstvo energie do prostredia, pretože do analyzátora sa vrátila iba malá časť energie. Týmto som zistil, že anténa je navrhnutá správne a navrhnuté parametre sú takmer identické s nameranými hodnotami, ktoré anténa môže dosiahnuť.

Poslednou časťou bolo meranie zisku MLA. Bolo to meranie z vlastnej iniciatívy a zo záujmu pre porovnanie s navrhnutým modelom v MMANA GAL. V tejto práci som sa naučil pracovať s informáciami a efektívne ich využívať aj v praxi pri konštrukcii. Využíval som experimentálne pokusy, kde som zisťoval skutočné správanie pri zmenách na anténe.

Použitá literatura

- [1] DVORSKÝ, M. Magnetická anténa. Elektrevue. Březen 2008. Dostupná na WWW: <<http://www.elektrevue.cz/cz/clanky/komunikacni-technologie/0/magneticka-antena/>>. ISSN1213-1539
- [2] DVORSKÝ, Marek. Radiokomunikační technika: podporný text. VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2013. Skripta. VŠB – Technická univerzita Ostrava.
- [3] PROCHÁZKA, Miroslav. Antény: Encyklopedická příručka. 3., rozšíř. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2000. 287 s. ISBN 80-730-0166-7.
- [4] BALANIS, Constantine A. Antenna theory: analysis and design. 3rd ed. Hoboken: Wiley-Interscience, 2005. xvii, 1117 s. ISBN 978-0-471-66782-7.
- [5] ŽATKOVIČ, Alexander. <http://alzat.spseke.sk/radiote/elmag/vlastnosti.htm>.
- [6] KUCEJ, Jozef. TEÓRIA ANTÉN. Dostupné z: <http://jkucejova.gaya.sk/>
- [7] [MLA-M Magnetic Loop Antenna | BTV](#)
- [8] BURGER, Oldřich. LA160 – magnetická anténa pro Top Band. Dostupné z: <http://www.radiozurnal.sk/radioamater/download/cisla/2009-4.pdf>
- [9] LoopCalculator. 2004. Dostupné z: <http://ebookbrowse.net/loop-calculator-xls-d32059946>
- [10] REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. Encyklopedie fyziky. 2006 - 2014. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/352-elektromagneticke-kmitani-a-vlneni>
- [11] HUBENÝ. Jevy ovlivňující útlum symetrických kabelových vedení: Povrchový jev. České vysoké učení technické v Praze, FEL. Dostupné z: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?navezclanku=jevy-ovlivnujici-utlum-symetrickych-kabelovych-vedeni&cislocclanku=2004120201>
- [12] 144MhzMagneticLoopAntenna. Dostupné z: <http://www.iw5edi.com/technical-articles/144-mhz-magnetic-loop-antenna>
- [13] Magneticloopantenna.2010. Dostupné z: http://www.nonstopsystems.com/radio/frank_radio_antenna_magloop.htm
- [14] MACOTO, Mori. MMANA-GAL. Canada, 2008. Dostupné z: <http://hamsoft.ca/pages/mmana-gal.php>
- [15] ING.PROCHÁZKA, CSC. Měření elektrických parametrů antén: Praktická elektronika A Radio - 2/99. 1999. Dostupné z: om6bb.bab.sk/files/HAM%20Kniznica/Magaziny/.../1999-02a.pdf
- [16] Antenna-Theory: S-Parameters. 2008. Dostupné z: <http://www.antenna-theory.com/definitions/sparameters.php>

Zoznam príloh na CD:

Fotky konštrukcie

Fotky merania RigExpert

Grafy merania ESPI7

Tabuľky_excel/ data_hodnoty.xlsx

Tabuľky_excel/ data_hodnoty_2.xlsx

Tabuľky_excel/ data_hodnoty_v3.xlsx

Originálne Hodnoty txt

Iné fotky

Súbory